一般講演

# Ｃ会場

２号館 106 講義室

2C01 ～ 2C11

3C01 ～ 3C08

日時：９月１２日（木）9:30～12:15

９月１３日（金）9:30～11:30

# 2C01　矢作川支流の山地渓流における夏期と積雪期の流量

*谷口智雅（三重大・人文），宮岡邦任（三重大・教育）

## １．はじめに

地域の河川環境を考える上でも、各河川の上流域を含む河川流量は、季節変化を含めて明らかにすることは重要である。しかし、上流域の流量については、河川までのアクセス可能な道路の整備が不十分であったり、整備されている場合でも冬季の路面凍結や積雪などの影響で調査地点までのアクセスが非常に困難になるなど、必ずしもある程度の空間を有した支流域単位での流量分布の把握はされていない。このため、本研究では、矢作川支流の上流域における夏期と冬季における流量観測を行い、山地渓流の流量分布の把握を行った。

対象河川は矢作川の支流である大桑谷川と野入川で、いずれも豊田市稲武地区を流下する河川である。野入川は、長野県根羽村との境界地域大野瀬町の矢作川の左岸に合流する支流である。大桑谷川は、岐阜県恵那市との境界地域の矢作川の右岸に合流する支流で、豊田市の最北東部に位置する河川である。大野瀬町一帯は木曽山系の南端にあたり、中央構造帯より北側に位置する三河山地に属し、地形の起伏が少なく山麓斜面も比較的緩やかな傾斜である地形的特徴がある。地質は珪長質深成岩類（花崗岩）で、土壌は大部分が砂質土壌または壌土である（稲武町教育委員会、1996）。稲武地区の気候は、標高600～1200mと山間地域であり、年平均気温12.0℃、年間降水量1953.5mm、最高気温32.8℃、最低気温-7.8℃であり、愛知県内では降水量の多い地域に属し、年間の気温差が大きく内陸性の気候を示す（気象庁、2009）。森林植生は、恵まれた雨量とともに樹木の育成に適しているため、スギ、ヒノキ、カラマツなどの針葉樹による人工林が広がっている。

## ２．調査方法

豊田市内の河川を対象に 2008 年～2012 年の期間で調査を行っているが、今回は 2011 年 8 月 13 日～16 日、2012 年 2 月 19～21 日の期間の観測結果について示す。なお、流量の観測地点は野入川で 17 地点、大桑谷川で 6 地点である。

現地では、流量観測とともに、棒状水銀温度計および YOGOGAWA 製ポータブル pH 計・EC 計で水温、EC、pH の測定も行った。流量について、小型プライス型流速計による 60%水深で測流する 1 点法の流速観測の断面観測によった。各地点の水深観測数は、基本的には 0.05～0.2m 間隔で測定した。各地点の流量は測深点一つおきに流速を観測し、その流速が両側の断面を代表とするものとする簡易法によった。一部渓流については、水流が乱れており、断面観測が困難なため、食塩水瞬間投入法による瞬間投入希釈法によって観測を行った。

## ３．結果

野入川の 2011 年 8 月の観測結果を以下に記す。野入川は標高 1229.3m の豊田市内でも高い地点を有する流域であるため、源流域の地点の水温も 15℃と低い。野入集落直下における河川流量の寄与は本流の野入川が 0.437684$m^3$/秒と多く、森林管理など流域の土地利用状況が異なる支流の丸根川、木地山川の流量はそれぞれ 0.064062 $m^3$/秒と 0.197324$m^3$/秒となっている。その後、小さな谷からの流入によって各支流の合流した地点の流量は 0.782513 $m^3$/秒 、矢作川合流直前で 1.023072$m^3$/秒と増加する。しかし、木地山川合流前の集水域と合流後との集水域では合流後の下流での面積は小さく、矢作川合流直前地点における流量に対する割合も丸根川、木地山川の合流前の野入川本川の流量 0.437684 $m^3$/秒の方が大きく占めている。水温、流量、そして水質の支流からの影響を比流量も含めて検討すると、各支流・渓流の地域的差異が示唆された。

大桑谷川の 8 月と 2 月では、水温が 17.6～21.3℃と 0.2～2.4℃大きく変化し、観測地点最下流の流量も 0.258235 $m^3$/秒から 0.029229 $m^3$/秒と大きく減少している。特に大桑谷川の夏期の水量の割合を大きく占めていた右岸側の支流の流量が夏期 0.13607 $m^3$/秒から 0.0055298 $m^3$/秒と大きく減じ、冬季で本川上流からの流量の占める割合が高くなっている。

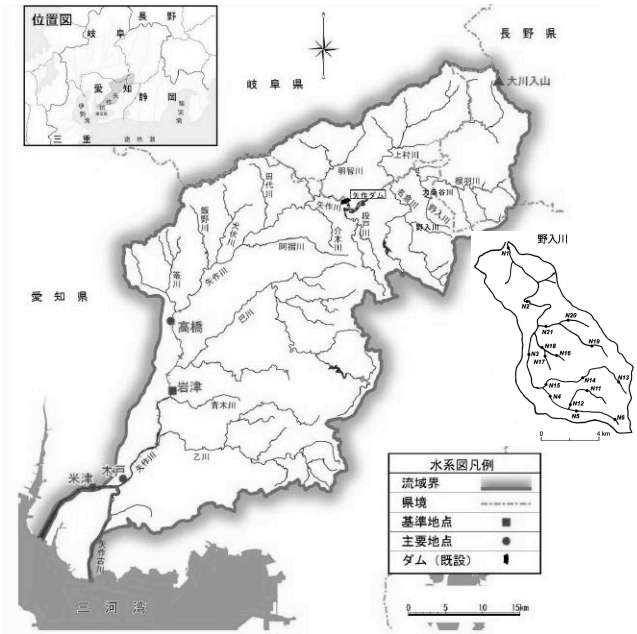



図１　矢作川流域図および野入川調査地点

文献
稲武町教育委員会（1996）：稲武町史－自然－本文編．稲武町．
国土交通省（2006）：矢作川水系河川整備基本方針．国土交通省．

# 2C02　間伐が渓流水中溶存成分の流出負荷量に及ぼす影響

*小島永裕[1)]，長井正博[2)]，渋谷佳那[2)]，片山幸士[2)]
[1)]滋賀県森林センター，[2)]人間環境大学人間環境学部

## はじめに

渓流水中の成分濃度は，森林系外からの流入，系内での生物地球化学的過程，水文学的過程などのいくつかの過程が複合的に作用して決まっている。これらを解明するために，我々は渓流水中の溶存成分濃度に対する流量と温度の影響について検討してきた[1)]。

生物地球化学的な作用を解明する上で，樹木の生長や伐採に伴う渓流水中成分の濃度変化を把握することは重要である。昨年の発表[2)]では，渓流水の主要溶存成分の濃度について，間伐前後の濃度変化に対する水文学的要因と生物地球化学的要因の寄与の程度を検討した。

今回は，これらの溶存成分の負荷量を算出し，間伐前後での変化のうち，間伐による変化の程度を見積もった。特に，$NO_3^-$と Alk-$HCO_3^-$の負荷量について報告する。

## 調査方法

調査地は滋賀県野洲市大篠原にある集水面積 20.0 ha の森林で，日野川支流光善寺川の最上流部に位置し，花崗岩質で，スギ，ヒノキの人工林を主体とする。2003 年に量水堰を設置し，渓流水量を自動計測している。

水質分析用に渓流水を 2004 年 9 月から 2010 年 10 月にかけて毎週，量水堰の上流約 10 m において採取した。孔径 0.4 μm のニュクリポアフィルター(Whatman 製)でろ過して得たろ液中の $NO_3^-$を，イオンクロマトグラフを用いて測定した。また，ろ液に純空気($CO_2$ < 0.5 ppm)を通気して溶存 $CO_2$ を除去した溶液を全有機炭素計に供し，アルカリ度成分としての$HCO_3^-$ (以下，Alk- $HCO_3^-$)濃度を測定した。

間伐は 2008 年 1 月 25 日から 4 月 20 日に実施し，本数率で約 10%の造林木を伐採した。

## 結果と考察

間伐前の 3 年間を 1 年毎に区切ったとき，週降水量の年間相乗平均値(mm/week)と日渓流水量の年間相乗平均値($m^3$/ha・day)の間には対数軸上で直線関係が見られた。間伐後 1 年目，2 年目の値は，ほぼこの直線上にプロットされた。従って，間伐後の渓流水量の変化は，降水量の変化によるものであることがわかり，今回の 10%程度の間伐では蒸発散量に変化は見られなかったといえる。

間伐前の 3 年間の溶存成分濃度の相乗平均に対する間伐後 1 年目の濃度の相乗平均の比(間伐後の変化率と略記する)は，次のように変化要因毎の変化率の積で表すことができる。

間伐後の濃度変化率 =
渓流水量の変化による濃度の変化率
×渓流水量以外の要因による濃度の変化率

本調査流域では，渓流水量，気温，濃度のデータを処理することで，上式中の 2 つの要因による濃度の変化率を見積もることができることは報告した[2)]。ここで，渓流水量以外の要因としては，間伐に伴う樹木の物質吸収の変化が主として推察された。一方，上で述べたとおり，間伐後の渓流水量の変化は降水量の変化によるものと考えられる。よって，渓流水量以外の要因による濃度の変化率が，間伐による濃度の変化率であることになる。

$NO_3^-$濃度の間伐後 1 年目の変化率(1.41)は，降水量の変化によるもの(1.07)と間伐による変化率(1.32)の積で表された。ここで，濃度に渓流水量をかけて負荷量を算出する。渓流水量の間伐後の変化率は 1.59 であったが，この変化は全て降水量の増加によると考えられる。間伐後の$NO_3^-$負荷量の変化率は 1.41×1.59=2.24 となるが，このうち水量増加によるもの，即ち，降水量の増加によるものが 1.07×1.59=1.70，間伐による変化率が 1.32×1.00=1.32 となる。$NO_3^-$負荷量の増加は，降水量の増加によるものと間伐によるものの相乗効果であるといえる。

Alk-$HCO_3^-$濃度は$NO_3^-$濃度とは逆に間伐後に減少し，その変化率は 0.84 で，これは降水量の変化による変化率(0.90)と間伐による変化率(0.93)に分かれた。上記と同様に負荷量の計算を行うと，Alk-$HCO_3^-$負荷量の変化率は 0.84×1.59=1.33 となった。このうち降水量の増加による変化率が 0.90×1.59=1.43 で，間伐による変化率は 0.93×1.00=0.93 であった。Alk-$HCO_3^-$負荷量は間伐により減少したが，降水量増加の影響が大きいために，全体では増加したといえる。

## 引用文献

1) 小島永裕ほか(2009)　渓流水中の溶存成分濃度に対する水量および温度の影響，第 120 回日本森林学会大会要旨集，D24
2) 小島永裕ほか(2012)　間伐による渓流水質変化に対する水文学的および生物地球化学的要因の寄与，日本陸水学会第 77 回大会要旨集，p86

# 2C03　鉾田川における窒素流出負荷の特徴

*北村立実，吉尾卓宏，井上三喜夫（茨城県霞ケ浦環境科学センター）

## １．はじめに

茨城県の鉾田川は霞ケ浦の北浦に流入する河川で，鉾田川流域では畑地の割合が大きく，畜産業も盛んに行われている。鉾田川の窒素濃度は年々上昇する傾向があり，特に平成 17 年頃から顕著に上昇し，平成 19 年度には T-N 濃度で 10 mg/L を超えた。しかし，これまで詳細な窒素負荷に関する調査は少なく，負荷の実態が不明な部分が多い。そこで，本研究では鉾田川の支川流入部で晴天時と降雨時の水質調査を行い，地点別の負荷の特徴を検討した。また，過去の負荷量調査から鉾田川の L-Q 式の推移について検討した。

## ２．調査方法

調査地点を図 1 に示した。調査は平成 24 年 4 月から平成 25 年 3 月に行い，晴天時の調査は平成 24 年 5 月，8 月，11 月，平成 25 年 2 月の計 4 回，St. 1～6 の 6 地点で採水及び流量を測定した。降雨時の調査は平成 24 年 10 月 17 日 17 時～20 日 17 時（降雨 1），平成 25 年 2 月 27 日 2 時～3 月 2 日 2 時（降雨 2）の計 2 回，St. 1，St. 2，St. 7 の 3 地点で 3 日間 2 時間間隔で採水し流量を測定した。採水した水試料は孔径 0.7μm のろ紙（Whatman，GF/F）でろ過した。分析項目は SS，T-N，DTN，$NO_3$-N，$NO_2$-N，$NH_4$-N，T-N 及び DTN はオートアナライザー(BRAN+LUEBBE，AutoAnalyzer3)で分析し，$NO_3$-N，$NO_2$-N，$NH_4$-N はオートアナライザー（BRAN+LUEBBE，AACS-Ⅱ）で分析した。さらに，測定結果を用いて T-N と DTN の差から懸濁態窒素(PN)，DTN と $NO_3$-N，$NO_2$-N および $NH_4$-N の差から溶存態有機窒素(DON)として算出した。

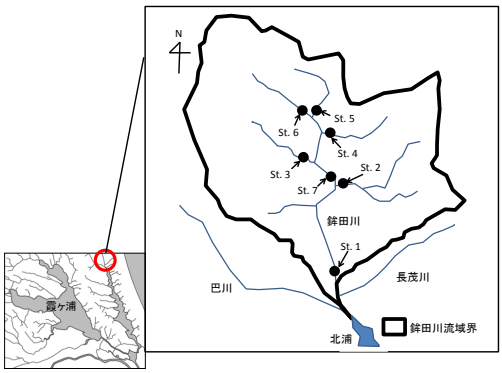



図１．調査地点の概要

## ３．結果と考察

晴天時の年平均 T-N 濃度については，St.1～St.4 で 10 mg/L を超えており高濃度で分布した。各態の窒素濃度では $NO_3$-N 濃度が高く，T-N 濃度の大部分を占めていた。ただし，St. 6 は他の地点と比較して $NO_3$-N 濃度が低かった。また，St. 2 は他の支流と比較して $NO_2$-N 濃度や $NH_4$-N 濃度が高い傾向があった。T-N 負荷量は St. 2 で最も大きかった。各態窒素の割合はほとんどの支流で $NO_3$-N 負荷量が 80%を超え，その他は数%であった。しかし，St. 2 は $NO_3$-N 負荷量は 60%で，PN や DON，$NO_2$-N 負荷量が 10%以上と他の支流と異なった。

10 月の降雨時調査ではすべての地点において降雨に伴い流量が増加し，SS 濃度が上昇する傾向がみられた。窒素濃度はすべての地点において降雨時に濃度が低下し，その後降雨前の濃度に徐々に戻る傾向があった。しかし，2 月の降雨時調査は St. 1 と St. 2 で降雨後の晴天時に窒素濃度が 2 回急激に上昇した。主に $NH_4$-N 濃度が上昇し，St. 2 では 1 回目は $NH_4$-N 濃度が 65 mg/L に上昇し，2 回目は 1 回目の上昇の 28 時間後に 51 mg/L まで上昇した。また，St. 1 では St. 2 で 1 回目の上昇の 8 時間後に $NH_4$-N 濃度が 13 mg/L まで上昇した。そして 1 回目の上昇の 28 時間後に 9.1 mg/L に再び上昇した。しかし，St. 7 ではこのような $NH_4$-N 濃度の上昇はみられなかった。これらのことから高濃度の $NH_4$-N 濃度は St. 2 の支流で発生し，流下時間の差や本流に合流した際の希釈によって，St. 2 よりも遅れて，なおかつ低濃度で St. 1 でも上昇したと考えられた。

鉾田川の負荷量調査から算出された L-Q 式を期間毎に示した（図 2）。S61-H1 から H2-H6 の間に流量に対する T-N 負荷量が大きく増加した。そして，H13-17 から H20-21 の間に流量が少ない時の T-N 負荷量が増加し，流量が多い時の負荷量は大きく変わらなかった。近年は少ない流量で T-N 負荷量が変動する傾向があった。先に述べた降雨後の晴天時に $NH_4$-N 濃度が上昇するような現象が要因の 1 つになっている可能性があり，年平均 T-N 濃度に影響を及ぼしている可能性もある。今後は河川の高濃度な $NO_3$-N 濃度の原因の検討と同時に，$NH_4$-N 濃度が上昇する原因について調査する必要がある。

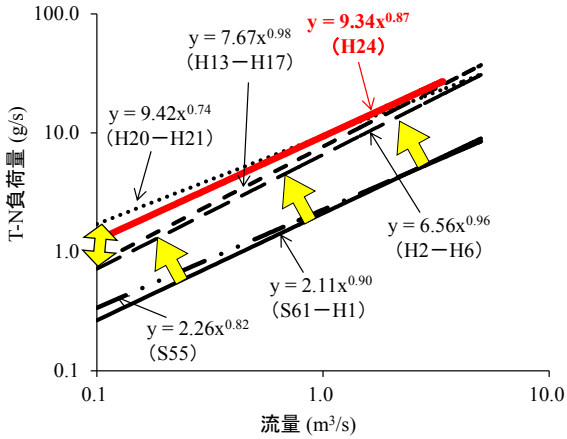



図 2．鉾田川の L-Q 式の期間毎の推移

2C04

# 讃岐平野における河川の水・物質循環解析のための化学マップの作成

＊山田佳裕（香川大・農）
福田竜也（愛媛大・院・農）
中野孝教（総合地球環境学研究所）

## 1. はじめに

水資源が少ない流域では、効果的な水利用がなされており、結果として河川にはおける利用された水の割合は大きくなる。讃岐平野では、一度、農業のために貯水・利用された水が河川の中下流に供給されている。そのため、河川水の生物化学的酸素要求量 (BOD) の環境基準達成率は全国平均を大きく下回っており(香川環境管理局) 、河川下流では、富栄養湖に匹敵する高い有機物濃度が観測されている。有機物汚染の原因の解明には、その起源と負荷過程を明らかにすることが重要である。そのためには河川水や有機物の起源を流域の水利用の特徴と関連づけて解析することが必要になってくる。しかしながら、流域レベルでの統合的な水利用は行われておらず、各種の公的な水文データから、流域の水循環を解析することは難しい。そこで、本研究では、讃岐平野の水・物質循環の解析に資するための基礎的なデータベースを構築する目的で、四国の北・中央域における主要流域の河川の水・物質マップを作成した。これにより、多様な物質の情報を重ねあわせて解析出来るようになり、讃岐平野における河川水質形成メカニズムについて定性的・定量的に解析することが可能になる。本発表では、河川水中の水の安定同位体比と各種物質の化学マップから、香川県の河川水質の現状を解析し、河川水質と流域環境の関係を考察する。

## 2. 方法

四国の瀬戸内地域の主要河川（香川県、愛媛県）及び吉野川流域（高知県、徳島県）において、河川水を採取し、主要イオン濃度、各形態の栄養塩濃度、懸濁態有機物の炭素・窒素濃度、クロロフィル *a*・フェオ色素濃度、及び $\delta^{18}O$ を常法によって測定した。測定結果をもとに、河川の物質マップを作成した。

## 3. 結果及び考察

源流域では、降水量と水の濃縮率(渓流水中の $Cl^-$／降水中の $Cl^-$)とは負の相関を示した ($r=-0.726, \alpha<0.01$)。さらに、水中の全イオン濃度と濃縮率とは正の相関を示した ($r=0.797, \alpha<0.001$)。特に降水量が多い加茂川流域では渓流水中の全イオン濃度が 0.47meq/L と香川県の渓流水の平均 0.94meq/L や愛媛県の他の水系の渓流水の平均 0.75meq/L と比較すると低い値を示しており、瀬戸内地域において、渓流水中の主要イオン濃度には山岳域における水の濃縮率が強い影響を与えていることが分かった。

中下流では都市域の人口密度が高いところで、全イオン濃度や有機物濃度が高くなった。また、重回帰分析の結果、人口密度が低い地域でも、流域のため池密度が高い地点で、クロロフィル *a* やフェオ色素濃度が高くなっていることがわかった。これは、ため池で生産された有機物が河川水中の有機物の増加の要因となっていることを示している。

讃岐平野の $\delta^{18}O$ は河川の上流と中下流の差が大きく、中下流で 3‰程度高かった。源流域と平野部の雨の $\delta^{18}O$ の差は 1‰以下である。河川の延長は 20～50km と短く、上流の河川水は平水時でも 1 日程度で海に到達すると考えられるため、河川内での蒸発の影響は大きくない。一方で、讃岐平野では、水資源を効率的に利用するため、河川流域には多くのため池が存在し、それらの $\delta^{18}O$ は河川水より数‰高い。流域では、河川水はため池に貯水され、ため池の水は河川を通して、水田に分配される。このような水利用が中流から下流で繰り返し行われていることから、河川中下流の高い $\delta^{18}O$ は、河川水の多くが、ため池から流入した水によって占められているためだと考えられる。先の統計解析の結果と合わせ、河川中下流では、河川水へのため池の寄与が大きく、富栄養化したため池の有機物が河川の有機物汚濁の要因になっていると考えられる。

2C05

# ブラーツク-ウスチイリムスク水系（ロシア）の主要成分・栄養塩の濃度変化

*細田耕（京都大院・人間環境学），神田航（京都大・総合人間学），望月陽人（京都大院・人間環境学），三村徹郎（神戸大・理学），渡辺泰徳（立正大・地球環境科学），佐藤泰哲（山形大・理学），
Valentin V. Drucker（ロシア科学アカデミー・陸水学研究所），
Vladimir A. Fialkov（ロシア科学アカデミー・バイカル博物館），杉山雅人（京都大院・人間環境学）

## １．はじめに

シベリア（ロシア）にあるブラーツク湖及びウスチイリムスク湖は、バイカル湖からの流出河川であるアンガラ川に形成されたダム湖である。それぞれの容積、表面積は 169 $km^3$、5478 $km^2$ と 59 $km^3$、1920 $km^2$ であり、琵琶湖（28 $km^3$、674 $km^2$）と比較すると、その規模の大きさが際立つ。このような水系は日本には存在せず、そのため国内では見ることができないような環境中における物質動態変動が観測されることが期待できる。特に、人工湖のような河川中途停滞水域において、物質循環に関する新たな知見が得られる可能性がある。

本研究では、ブラーツク-ウスチイリムスク水系における物質循環の機構を明らかにするために、溶存態、懸濁態の化学成分の濃度変化を調査した。

## ２．材料と方法

ブラーツク水系（A1～10）は 2011 年 8 月に、ウスチイリムスク水系（U1～10）は 2012 年 8 月に調査した（括弧は採水地点を示す）。なお、A9、U3、U9 は支流である。またブラーツクダム直近の A10 では水深を変えて採水を行った。現地では水温、pH、透明度、電気伝導度などを測定した。溶存態成分は、採集した水を孔径 0.45 μm のポリフッ化ビニリデンフィルターを用いてろ過した。これらを研究室に持ち帰り、Na、K、Ca、Mg、Cl、$SO_4$、アルカリニティー、栄養塩（P、Si、$NO_3$-N）の測定を行った。また、懸濁態成分は、採集した水を孔径 0.40 μm のポリカーボネイトフィルターでろ過し、ペトリディッシュに入れ、分析操作まで冷凍保存した。分析は、このフィルターを過塩素酸、フッ化水素酸、硝酸を用いて分解し測定した。測定方法は、次の通りである。

Na　K　懸濁態成分：原子吸光光度法

Ca　Mg：誘導結合プラズマ発光分析法

Cl　$SO_4$：イオンクロマトグラフィー

アルカリニティー：滴定法

P：モリブデンブルー法

Si：モリブデンブルー法

$NO_3$-N：カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法

## ３．結果

ブラーツク湖における溶存態主要成分、栄養塩及び懸濁態 Al、Fe、P の濃度分布を図 1～3 に示す。

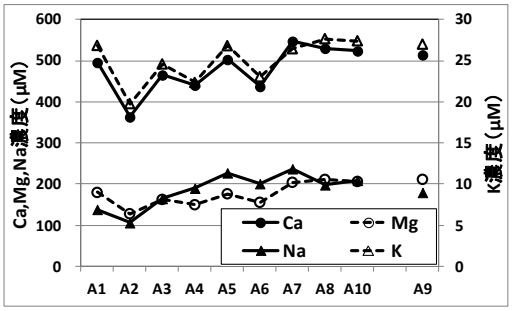



図 1　溶存態主要成分の濃度分布

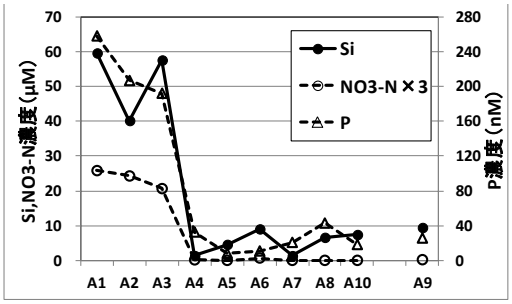



図 2　栄養塩の濃度分布

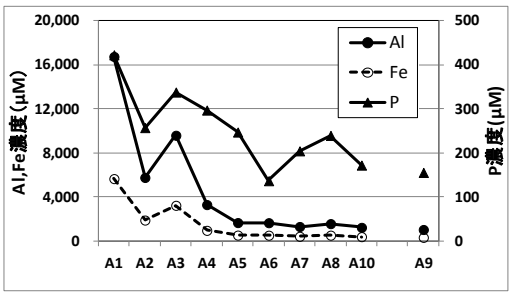



図 3　懸濁物質の濃度分布

なお、図 2 の $NO_3$-N については、3 倍にして表示している。

ブラーツク湖では、上流から下流に向かって溶存態主要成分が徐々に増加する傾向が見られた。栄養塩については、A4 で極端に濃度が低下していた。このような現象は、ウスチイリムスク湖においても確認された。また、懸濁態 Al や Fe も A4 で顕著な濃度低下が観測された。

## ４．考察

ブラーツク湖においても、ウスチイリムスク湖においても、栄養塩が極端に減少する地点が存在した。これらの地点では、生物地球化学的環境が変化したものと推測される。水深が増加し、水の流れが緩やかとなり、珪藻などの藻類が増殖したために、Si とともに P や $NO_3$-N が取り込まれ、これらの濃度減少が観測されたものと考えられる。

2C06

# 最近２０年間の北海道屈斜路カルデラに産する温泉水の主要イオン濃度

*高野敬志，内野栄治（北海道立衛生研究所）

## 1. はじめに

火山性温泉の泉質は火山の地熱活動の影響を受けており，温泉水に含まれる特定の物質の濃度が付近の火山の噴火に伴って変化したという報告例がある。北海道には多数の火山性温泉が存在し，最近では十勝岳山麓の温泉に含まれる塩素イオン濃度が増加していることが発表された。前回の十勝岳の噴火の際にも，温泉水の塩素イオン濃度の増加が観察されたことから，噴火との関連について議論されている。

屈斜路カルデラは北海道東部に広がるカルデラであり，摩周湖と屈斜路湖，両湖に挟まれた活火山のアトサヌプリ（硫黄山）を含み，川湯温泉，摩周温泉，仁伏温泉，和琴温泉など複数の温泉地が存在している。この数百年はこのカルデラ内で噴火は起こっていないが，常時観測火山としてアトサヌプリが選定され，地震や空震等，地球物理学的な火山活動の監視が行われている。これらの監視とともにカルデラ内に存在する温泉の泉質の長期的な監視も火山活動を捉えるための重要な資料となると考える。

温泉法では，公共の浴用および飲用に温泉を供している施設には温泉成分分析を義務付けており，10年に１度，分析を行うことを推奨している。今回，屈斜路カルデラ内に存在する温泉施設の近年 20 年間の温泉成分分析結果を整理し，主要イオン濃度の変化の特徴について報告する。

## 2. 材料および方法

温泉水の分析は，北海道によって指定を受けた分析機関（北海道立衛生研究所ほか５機関）により，屈斜路カルデラ内のそれぞれの温泉施設から依頼を受けて行ったものである。分析方法は，温泉分析法指針（環境省自然環境局，2002）に準じて行った。

## 3. 結果および考察

屈斜路カルデラ内に産する温泉を地域別に，仁伏・屈斜路，川湯および摩周・美留和の３区分した。仁伏・屈斜路および摩周・美留和は中性からアルカリ性で溶存物質が少なく，川湯は酸性で溶存物質が多かった。泉温は仁伏・屈斜路と川湯がおおよそ 40－60℃であったのに対し，摩周・美留和は 30－90℃と幅が広かった。

主要陰イオンである塩素イオン，硫酸イオンおよび炭酸水素イオンについて，仁伏・屈斜路および摩周・美留和は，どのイオンについても明確な経年的傾向は認められないが，川湯は塩素イオンおよび硫酸イオンが 2004 年頃から高い濃度を示すようになり，特に塩素イオンが顕著に高い値を示すようになった。川湯温泉の泉質は，これまで硫酸塩温泉として知られていたが，最近は塩化物温泉に変化している。主要な陽イオンであるナトリウムイオン，カルシウムイオンおよびマグネシウムイオンについて，仁伏・屈斜路および摩周・美留和は，どのイオンについても明確な経年的傾向は認められないが，川湯は3つのイオンとも2004年頃から高い濃度を示すようになり，特にナトリウムイオンが顕著に高い値を示すようになった。

一般に火山性温泉の特定の物質の濃度変化の原因として考えられるのは，火山の地熱活動の変化であり，地熱活動が活発化することによって火山ガスや地下の岩石等の成分が，地下水に多く溶け込んだ結果,特定のイオン濃度が増加すると考えられている。本研究の屈斜路カルデラの場合，複数のイオン濃度変化が一部の地域の温泉のみに認められたため，火山活動との関係は明確ではない。今後，火山の活動状況を把握するためには，地質学的調査に加え，温泉成分の分析等，監視を継続する必要がある。

2C07

# 年代解析を併用した地下水の硝酸塩汚染の解析（２）

*戸田任重（信州大・理/山岳科学総研），浅井和由（地球科学研究所）
宮原裕一（信州大・山岳科学総研）

## １．はじめに

農耕地周辺を中心に、国内各地で地下水の硝酸塩汚染がみられる。汚染源の解析には、硝酸塩の窒素同位体比解析が有効な手段になっている。一方、地下水は河川や湖沼等の地表水に比べて、その滞留時間が長く、現在の地下水の汚染源解析を行っても、それがいつの時代に起きたものかを特定することは困難であった。また、今後の汚染状況を予測するためにも地下水の年代解析が切望されていた。昨年に引き続き、窒素同位体比解析に加えて、人工不活性ガスを利用した地下水の年代解析を行った。

## ２．方法

2011 年 8 月と 2012 年 8 月に、長野県南部豊丘村において、水道水源井戸 8 本、観測井戸 2 本、個人井戸 10 本、湧水 1 点で採水した。硝酸塩の窒素同位体比は、2011 年は濃縮・凍結乾燥後、元素分析計（Thermo Fisher Scientific: Flush EA 1112）を直結した質量分析計（Thermo Fisher Scientific: Delta V Advantage）で計測した。2012 年は、脱窒菌法により測定した。

人工不活性ガス（$SF_6$）は、試水 400ml を用いて、純窒素によるパージ、冷却トラップ捕集後、ECD 付きガスクロマトグラフ（Shimadzu GC-8A）で測定した。トリチウム（$^3H$）は、試水を蒸留精製し、Fe-Ni 電極を用いた電気分解で濃縮後、液体シンチレーションカウンター（Aloka model LB5）でβ線を計測した。

各窒素源の寄与率の算定には，中西ら(1995)の算定方法を用いた。窒素同位体比には、現地での実測値に基づいて（齊藤、2007）、化学肥料：-0.6±0.8‰、畜産堆肥：+17.2±4.2‰、非汚染土壌： +0.4‰（0.2 mgN）を適用した。豊丘村では、生活排水や下水等の地下水への流入は極めて小さい。

## ３．結果と考察

調査した井戸水の硝酸態窒素濃度は 3.2～25.1 mgN/L、$\delta^{15}N$ は 2.7～9.4‰であり、汚染源として化学肥料由来窒素が 40～79%、堆肥由来窒素が 18～56%と推定された。

井戸水の $SF_6$ 濃度は 0.28～2.64 f mol/kg で、概ね大気の溶解平衡濃度の範囲内であった。$SF_6$ による年代解析では、地下水の滞留時間（2012 年現在）は 2～33 年間と推定された。水源井戸（4 本）および観測井戸（1 本）については、トリチウム（$^3H$）も測定した。これらの井戸水の $^3H$ 濃度は 1.2～3.2TU であり、いずれの地下水も 1953 年の大気核実験開始以降の降水に由来していることを示し、$SF_6$ による年代解析の妥当性を裏付けた。

水道水源および観測井戸（いずれも 30m 以上の深井戸）の地下水の硝酸態窒素濃度は、滞留時間が 20 年弱（1993～94 年涵養）の井戸で極大を示し、15 年未満（1997 年以降涵養）の井戸では比較的低濃度であった（図１）。調査した豊丘村では、堆肥を含む施肥量が過去 40 年以上にわたり減少し続けており、水道水源などの深井戸の硝酸態窒素濃度は施肥量の減少を反映している可能性がある。個人井戸は浅井戸が多く、硝酸態窒素濃度と滞留時間とには明瞭な関係は認められなかった。浅井戸では局地的汚染の影響を受け易いのであろう。

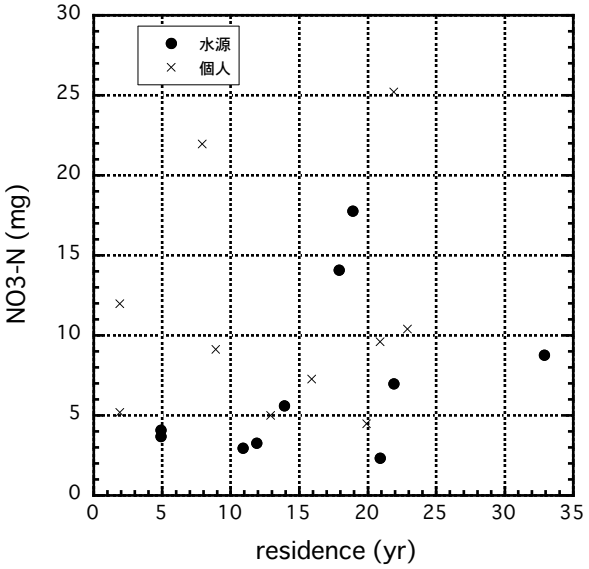



図１　井戸水の硝酸態窒素濃度と滞留時間との関係

# 2C08　利根川流域における MONERIS を用いた栄養塩流出解析

小暮香奈実（ウィーン工科大・水質水資源管理研究所）

## １．はじめに

人間は水を利用し汚染物質とともに環境中に排出し、河川流域における人間の活動は河川水質に影響を与えている。本研究では、河川に流入する汚染源と経路、土地利用が河川水質に与える影響、流域においてより影響のある活動を明らかにし、適切な流域管理を提案することを目的とした。

## ２．材料と方法

流域における土地利用と河川水質の関係を知るために、モデルを用いた栄養塩流出解析を行い、汚染源と経路の推定を行った。ここで用いるモデルシステム MONERIS(MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems, Behrendt, 2000)は、GIS を利用して流域内での物質移行を計算する。流域を複数の小流域に分割し、小流域ごとに汚染源、経路を推定し、それらを統合することで河川への栄養塩負荷を見積もる。流域全体を終点に水質観測所をもつ 11 の小流域に分割し河川ネットワークを描いた(図 1)。空間データは ArcGIS を用いて各小流域における土地利用や土壌、地質区分ごとの面積を整理し、統計データ、観測データについては気象庁や農水省が公表している統計から入力に適した形に整理した。余剰窒素量は施肥由来の N 量と収穫による除去量の差として推定した。流出解析は 11 の小流域について 2000 年から 2006 年の期間で窒素に着目して行った。

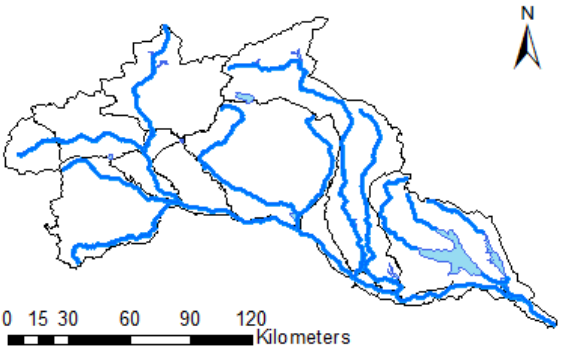



図１．対象地域の河川ネットワーク及び小流域

## ３．結果と考察

MONERIS による結果は図 2 に示す。観測値と河川での負荷量で精度を評価し、概ね 30%の誤差内にあった。この範囲で負荷量の考察を行った。TN 排出量は 51kt/y であり、主要な排出は 67%を占める地下水経由、都市域からの流出は 22%、ポイントソースによる排出は 5%、表面流出による排出は 5%であった。　MONERIS では各汚染経路は汚染源を示唆し、特に地下水は農地由来、都市域からの流出は未処理下水、ポイントソースは工場排水及び下水処理場からの放流水が汚染源と考えられる。

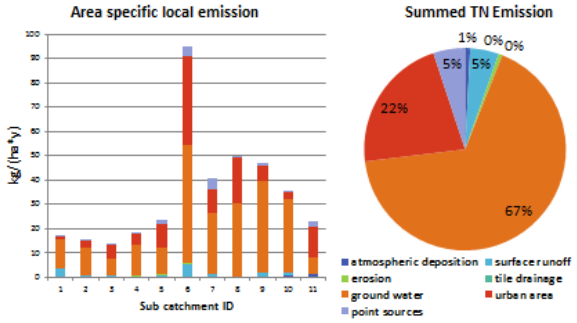



図２．各小流域の単位面積当たりの全窒素排出量及び利根川流域全体の全窒素排出量

農地由来の排出量が大きい流域では、土地利用に農地の占める比率が高く、農地から地下水を経由した窒素排出寄与が大きいと考えられる。都市域からの流出が大きい流域では、単位面積当たりの下水未処理人口が多く、未処理排水による寄与が示された。

そこで、利根川流域における下水処理と農地の状況を改善した場合を想定した計算を行い、対策の効果を予想した。下水処理を伴う下水道普及率を 100%とした場合では、都市域からの流出は 13%に減少し、全体の TN 排出量は 7 kt/y 減少した。これは下水処理の普及が都市域からの負荷を減らし、河川水質の改善に貢献することを示唆する。下水処理を伴う下水道への接続は効果的で潜在的な河川管理の手段になる。農地への余剰窒素量を 10%にした場合を想定すると、99%現状と同じ結果が得られた。施肥量を減らし効率的な農業活動を行っても、短期的な試みでは長年の施肥による窒素の蓄積の影響により、すぐに対策の効果が得られないと予想される。施肥量の減量は長期的な取り組みが重要だと考えられる。都市構造と農業活動が窒素挙動に大きな影響を与え、また河川水質にも影響していると考えられる。農地への施肥の減量と下水処理の普及は、より良い河川環境の実現のために有効な流域管理における改善目標になると考えられる。

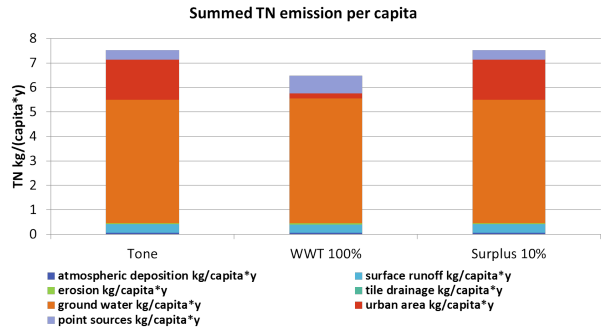



図３．利根川流域における全窒素排出量及び改善想定ケースでの排出量の推定

# 2C09　流域からの放射性物質流出シミュレーションモデルの開発

*佐藤祐一（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）
上原浩・湯浅岳史（パシフィックコンサルタンツ（株））

## １．はじめに

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故を受け，滋賀県の防災行政においては，同様な事態が隣接する地域で発生することを想定する必要がある．県では 2011 年度に大気中への拡散シミュレーションを実施し，福井県内の原子力発電施設で福島第一原発事故と同規模の放射性物質が外部に放出した場合，県内の一部区域で甲状腺被ばく等価線量が 100mSv を超える可能性のあることが明らかになった．

これを受け，地表や水面に沈着した放射性物質の移動経路を明らかにするとともに，特に危惧される琵琶湖の水質や生態系への影響を予測・評価する必要がある．筆者らは琵琶湖集水域における放射性物質の動態を予測するため，これまで開発してきた流域水物質循環モデルを改良して検討を進めており，その状況について報告する．

## ２．モデルの概要

筆者らが構築してきた「琵琶湖流域水物質循環モデル」[1)]は，主に有機物，窒素，リンを対象とした非定常分布型モデルである．このうち集水域のモデルについて，放射性物質の動態が扱えるよう拡張するため，以下の 3 点について検討を行った．

1 点目は放射性物質の動態に重要な影響を与える粒子状物質の考慮である．本研究では Hartley[2)]の方法を参考に，雨滴衝撃および表面流出による土壌発生量を算定するモデルを構築し，水中における浮遊物質（SS）濃度を予測した．また浮遊物質は無機態と有機態で区別して計算を行った．

2 点目は放射性核種ごとの特性の違いの考慮である．吸着特性については，一般に土壌と土壌溶液間における分配係数（$K_d$）で表現され，土壌中濃度 q と土壌溶液中濃度 C が平衡状態にある場合の両者の比 $K_d = q/C$ で表現される．本研究では水中において平衡状態が瞬時に達成されると仮定し，浮遊物質濃度を媒介として放射性核種ごとの存在形態を予測した．また放射性崩壊（半減期）についても核種ごとに考慮した．

3 点目は水相と表層土壌，および河床堆積物の相互作用の考慮である．表層土壌は放射性物質が吸着する層厚を設定し，地下浸透する核種の一部がこの土壌層に吸着され，土壌流出時に懸濁態として地表流に付加されるとした．河床堆積物は懸濁態に吸着した核種が沈降・浮上しつつ，一部については深層に移行し水相には回帰しないものとした（図 1）．

## ３．適用結果例

500m 正方メッシュで 20×20（10km×10km）の仮想的な流域データ（森林 44%，水田 20%，市街地 17%等）を作成し，上記モデルを適用した．対象物質は $^{137}$Cs（半減期約 30 年）と $^{131}$I（半減期約 8 日）の 2 種とした．計算条件として，期間は 1/1～4/30 までの 4 ヶ月間，大気由来放射性物質の量は全流域で 100kBq/m$^2$（1/11 に降下）とし，核種ごとの分配係数は Ciffroy et al.[3)]の最頻値を利用した．

河口部における放射性物質濃度の計算結果を図 2 に示す．$^{137}$Cs，$^{131}$I 共に降下後に濃度が急増し，その後急減するが，半減期の違いから $^{131}$I では半月程度で 1Bq/L 未満に減少する．また $^{137}$Cs は平常時には溶存態，降雨時には懸濁態が主となる一方，$^{131}$I は全期間通して溶存態が卓越する傾向が見られた．

発表では，本モデルを琵琶湖流域に適用した結果についても報告する予定である．

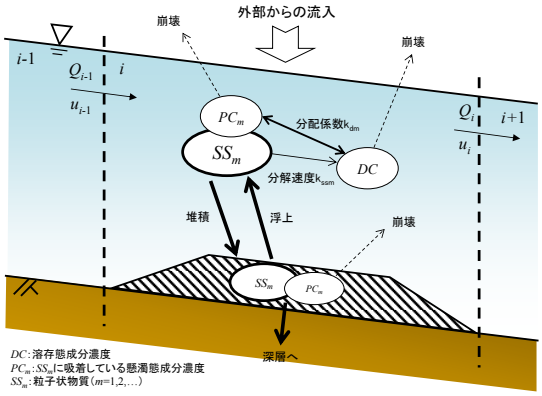



図 1．河道における放射性物質の動態のモデル化

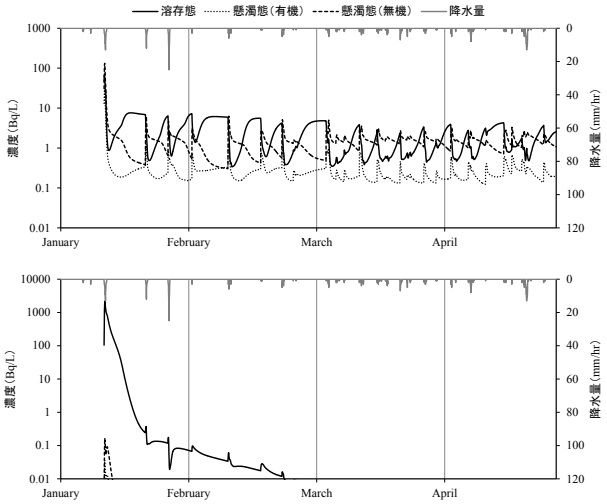



図 2．計算結果（上図：$^{137}$Cs，下図：$^{131}$I）

## 参考文献

1) 佐藤祐一ら（2011）水環境学会誌，34（9），pp.125-141
2) D. M. Hartley (1987) Transactions of the ASAE, 30(3), pp.710-717
3) P. Ciffroy et al. (2009) Environmental Radioactivity, 100(9), pp.785-794

# 2C10　赤城大沼における福島第一原発事故による放射性物質汚染の実態

*野原精一（国立環境研究所）,角田欣一,相澤省一,板橋英之,森勝伸（群馬大学）,鈴木究真,久下敏宏,松岡栄一,田中英樹,泉庄太郎（群馬県水産試験場）,薬袋佳孝（武蔵大学）

## １．はじめに

群馬県における放射性セシウム汚染は、県北部から西部の山間部を中心に、赤城山麓にまで広がっており、特に赤城大沼においてはワカサギ、ウグイ、イワナなどの魚類に暫定基準値程度の高い放射性セシウム汚染が観測されている。本研究では、群馬県内の放射性セシウム汚染の実態を把握するとともに、特に、この赤城大沼について、その生態系に広がる放射性セシウム汚染を、他の水系の状況と比較しつつ、物質収支の観点から総合的に解析することにより、汚染機構を解明および汚染の将来予測を目指すものである。

## ２．調査方法

大沼生態系構造の把握するため、毎月 1 回、流入・流出河川の流量観測と物質を測定して季節的な蓄積量と Cs 物質収支を明らかにした。湖心の中層・下層に沈殿瓶を係留し、月 2 回回収して、湖への新生堆積物の沈降量および再懸濁量を明らかにした。 また、流向流速計と魚群探知機を用いて、湧水のわき出し域と魚類の分布を明らかにして懸濁浮遊物質を魚類が取り込むメカニズムを明らかにした。湖心にて毎月 1 回水深別に採水を行い動植物プランクトンの定量採取、種組成を明らかにする。生物サイクルを含むワカサギの食物連鎖による Cs 生物濃縮メカニズムを明らかにするため、動植物プランクトン、底生動物および魚類の窒素・炭素安定同位体比、Cs 濃度を測定して、食物網を明らかにし食物からの Cs の移行量を推定した。

## ３．結果及び考察

**沈澱量調査**　その採集器で沈澱量の季節変化の係留 1 日と係留 2 週間の値を比較した。係留 1 日の調査でも 2 週間でも同じようなオーダーで藻類による沈澱量が把握できた。特に、2 週間法では循環期の 6 月や 10 月には沈澱量が多くなり、一次生産が増加している事が判った。一方成層期には沈澱が少なくなった。1 日係留による湖心と沿岸部での沈澱量を比較すると、明らかに沿岸部が 2-3 倍多く、湖底の巻き上げによる再懸濁による見かけ上の沈澱量が増えている物と思われた。沈殿物量は 6m や 14m で大きな違いは見られなかった。有機物量だけにして、無機物を除けば一次生産を推定することができる。また、沈殿物に含まれる放射性セシウム量を測定することによって、放射性セシウムの蓄積が今も続いているかを判断できる。

**粒度分布調査**　粒度分析を行う LISST-100X を使って、採水した湖心の湖水を持ち帰って水深別粒径－体積濃度の関係を測定した。水深毎に含まれる植物プランクトンの種類や大きさに関係して、粒径分布が変化することが見られた。赤城大沼の表層と流出河川の粒径分布は、74.5μmをピークとする大型有機態凝集粒子が少ないために植物プランクトンと思われるピーク（14.2～23.4μm）が明確である。流出の粒径分布の形状は湖心と相似であったが、湖心よりも高い体積濃度になっていた。5 月と比較して 6 月の台風後には小さな粒径分布になっていた。5.27～12.1μmの間はほぼ同じくらいであった。ピーク粒径は、底層近くの水深 17m では 38.4μmであったが、水深 15mでは 32.5μmと減少した。この変化は次の仮説が想定される。A)再懸濁説：再懸濁する小さい粒子は少なく、大きな粒子（32.5～38.4μm）が再懸濁した結果。植物プランクトンのピーク（14.2～23.4μm）は隠れ、その粒径範囲にわずかなゆがみである。B)土壌粒子流入説：流域からの微細な土壌粒子の混入による懸濁。総合的な結論には更なる台風時の流域からの流入水の追跡調査が必要である。10 月の水深 10-12m 付近にはどの地点でも同じようなピークが見られ、その原因を作っているのは 5μm 未満の粒子と推察した。

**LISST-100X による粒度組成の時間変化**

40 分には LISST-100X の架台設置による底泥の撹乱と見られた懸濁粒子が多かったが、700 分後の 10/06 3:30 には、ピーク粒径 87.9μm、1000 分後の 10/06 8:29 にはピーク粒径 87.9μmが見られた。粘土粒子分は、600 分後くらいまでほぼ一定で、その後減少していた。1000 分後では、粘土粒子分が大きく増加（0.40→1.58μL/L）していた。湖底上には浮遊している大型凝集態粒子は多く存在するが、浮遊している粘土粒子分はほぼ一定であり、湖底の泥に含まれる粘土粒子分が浮遊するのにはある程度に大きな外力が必要と思われた。1000 分後では、かなり乱流が発生していたと思われた。同時期の電磁流速計による計測結果には流速を伴う大きな攪乱はなかった。以上のことから、この懸濁粒子は大型の魚類（コイやイワナ）による遊泳による攪乱と思われ、平穏な時期でもある程度の底泥の巻き上げは起こると推定された。

**放射性セシウム堆積分布調査**　沿岸域の底泥に含まれる放射性セシウムは湖心の底泥に比べて少ないが、場所による偏りが見られた。低いのは底泥が礫質で有機物量が少なく粘土粒子の量が少ないためと考えられた。これらの放射性セシウムの分布偏りを明らかにするために、集水域での蓄積量にも同様の偏りがあるかを確認するため、登山道における空間線量の測定と流路図の作成を行った。赤城大沼の集水域と仮想の表層流路図上には、空間放射線量が高いいわゆるホットスポットが 3 ヶ所認められた。地蔵岳中腹、薬師岳中腹、黒檜山の中腹の何れも標高 1500m であった。当時の積雪の状態や風向きによる放射性セシウムが偏って蓄積したと考えられ、その下流に流路に沿って流れ込んだものと推定された。

**ワカサギが生きたタマミジンコを食べる様子**

ハイビジョンカメラと、ハイビジョン規格のハイスピードカメラを用いて撮影した。ワカサギは動物プランクトンを目視し選んで摂餌し、大型の懸濁粒子（底泥の粘土粒子、植物遺体、大型の植物プランクトン）がサイハに捕集され食物として食される可能性がある。実際のワカサギの胃内要物の解析が重要となり、解析を進めて行く予定である。

# 2C11　琵琶湖北湖深湖底の溶存酸素濃度の短期変化に対する研究

＊ 焦　春萌・桐山　徳也・石川可奈子・井上栄壮・
（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）
青木　眞一　（滋賀県南部流域下水道事務所）

## 1　はじめに

琵琶湖北湖深湖底の溶存酸素濃度は、長期で見ると、顕著な減少傾向（トレンド）にあるが、短期では、近年、低酸素化の発生頻度が高まっている。調査研究を行った結果、北湖深水層の成層期の水温と溶存酸素濃度の季節変化は、様々な要因によって決定されるが、その中でも 3 月の水温と溶存酸素濃度、また成層開始日による影響がもっとも大きいことが分かった。さらなる研究により、その季節変化は、地球温暖化によって生じる全地球的な気候変動を受けて春期の全循環状況および成層開始日が変化し、これが晩秋の低酸素化状態に大きな影響を及ぼすことが分かってきた。しかし、これらの要因で決定されるのは、その年の溶存酸素濃度の季節変化の全体傾向であり、その変化の短期変化の要因が、また、分かっていない。そこで、本研究では、第 1 湖盆に設置した自動連続観測機器による水温、溶存酸素のデータ、および琵琶湖環境科学研究センターの定期調査による水温、溶存酸素のデータを解析し、北湖深湖底における溶存酸素の季節変化の短期変化の要因を検討した。

## 2　方法

本研究では、2010 年から 2012 年まで琵琶湖北湖の第 1 湖盆の中心地において、N3、N4、N5 の 3 地点（水深 90m）の湖底から 1 m に高精度自動連続観測機器による水温、溶存酸素のデータ、ADCP（超音波流向・流速計）による流れのデータを続けて取っている。これらのデータは湖内データとして使った。気象データとしては、彦根気象台のデータを使った。

また、北湖深湖底における溶存酸素の季節変化の短期変化の要因のひとつだと思われる強風の影響を評価するため、風と成層強度を総合的に考え、以下の台風影響指数を提案した。

$$WII = KW^2 / SI \qquad (1)$$

ここで、K は比例常数で、W は風速、SI は、成層強度を表すシュミット安定度指数である。風が湖面に与える風応力は、$F= KW^2$ であるので、台風影響指数＝風応力/シュミット安定度指数である。

## 3　結果と考察

これまでの研究を踏まえて、3 月の水温と溶存酸素濃度および成層開始日に着目し、半年以上先の長期的な溶存酸素分布の予測ができたが、予測の精度を高めるため、強風が北湖深湖底における溶存酸素濃度の短期変化に与える影響を評価した。図 1 は、強風影響指数（WII）と強風前後の DO の変化の関係を示す。台風など強風のイベントが溶存酸素の回復に対する影響を評価できることが分かる。つまり、強風影響指数（WII）が大きいほど、強風前後の DO の変化も大きかった。

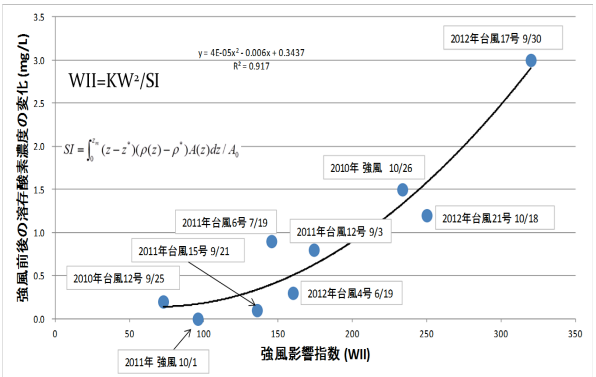



図１．強風影響指数と強風前後の DO の変化

台風など強風の影響は、強風により内部波が生じ、その内部波の砕波による乱流によって深湖底直上の水が上下混合・撹拌することによって、溶存酸素濃度が増加するが、表水層から深水層への酸素供給には貢献しないことが分かる。

なお、本研究では、台風など強風に伴い、深湖底直上の水の上下混合による深湖底への酸素供給を着目したが、植物プラクトンの異常発生による深湖底底質の酸素消費の詳しいことが、まだ分からないので、琵琶湖深湖底の低酸素化問題の全体像を解明するため、さらなる研究が必要である。

# 3C01　霞ヶ浦におけるプランクトン珪藻のメタゲノム解析とモニタリングへの応用の可能性

*辻彰洋（国立科学博物館），新山優子（国立科学博物館），
中川恵（国立環境研究所），高村典子（国立環境研究所）

## １．はじめに

植物プランクトンは，水界の一次生産者として重要であり，環境モニタリングの対象生物として広く扱われてきた。

この様な植物プランクトンを用いた環境モニタリングを成功させるためには，確実な同定を関係者が共有することが重要である。しかしながら，現状では，関係者の同定能力にムラがあることや，人や組織によって同一種でも同定が異なることなど，同定に関する問題が大きくなっていた。

私たちは，これらの問題を解決するために，植物プランクトンの簡易チェックリストを作成する（辻・新山　2013）などの解決策を講じてきた。しかし，これらは，あくまで’簡易‘チェックリストであり，水界の植物プランクトン全体にわたり，詳細にモニタリングするには不十分である。これらについては，最新の分類体系を広く紹介する（新山 2012）と同時に，日本のフロラ研究をアップデートする努力が必要であると考えている。

一方，近年の分子生物学の発達はすさまじく，対象生物の知識がなくても，分子同定により，種レベルの正確な同定が可能になる可能性が高まっている。特に次世代シークエンサーと呼ばれる装置により，環境ＤＮＡのメタゲノム解析が可能になり，微小動植物のファウナ･フロラが一気に解析できるような仕組みが作られつつある。

ここでは，種の認識や計数が容易な，霞ヶ浦のプランクトン珪藻を対象として，そのモニタリングへの応用の可能性について検証を行った。

## ２．材料と方法

a. 検鏡と計数

プランクトンは，国立環境研究所が毎月行っている定期観測に合わせて，2012 年 2 月から 2013 年 3 月にかけて毎月 1 回霞ヶ浦湖心の表層水を採水した。検鏡および計数はルゴール固定サンプルを自然沈殿濃縮して行った。また，必要に応じて，酸処理サンプルについて，永久プレパラート作成・光学顕微鏡観察・撮影やＳＥＭによる観察を行った。

b.メタゲノム解析

①採水した表層水（250～500mL）は，冷却遠心により，プランクトン珪藻を濃縮し，1.5mL チューブに集めた。このチューブにＧＩＴＣバッファを加え，ペストルを用いて手動で約 1 分間すりつぶし，ディープフリーザーで保存した。

②保管したサンプルを熱処理の上，市販の磁気ビーズキットによりゲノムを精製し，ＴＥバッファに溶解し，冷凍保存した。

③このゲノムについて，新たに設計した珪藻特異的 *rbcL* プライマによりＰＣＲ増幅を行った後，rbcL-3P 領域を切り出すと共に，アダプタ配列および MID を付加した。今回は 14 サンプルについて，MID でサンプル分割を行った。

④パイロシークエンスは，Roche の GS Junior を用い，純正のキットを用いて行った。

④得られたシークエンスデータは，「Assams」および「Claident」により解析を行った。解析は同一 10 シークエンス以上が得られたものを対象とし，97%以上一致する配列をまとめる設定を行った。

⑤解析結果の解釈にあたっては，gene bank に登録されているデータに合わせ，期間中に霞ヶ浦等から分離培養した珪藻株のシークエンスデータも合わせて解析した。

## ３．結果と考察

パイロシークエンスの結果，37 クラスタが検出された。そのうち，クリプト藻と考えられた 10 クラスタを除く 27 クラスタを検討の対象とした。

出現頻度の高かった *Aulacoseira granulata, Ulnaria japonica, Aulacosiera ambigua, Actinocyclus normanii, Cyclostephanos* sp. A, *Aulacoseira pusilla* については，光学顕微鏡観察でも出現頻度は高く，トレンドはほぼ一致していた。

しかし，9 月に *U. japonica* が光学顕微鏡観察ではほとんど見られなかったのに対し，パイロシークエンスでは 32%もの頻度が得られた。この月は底泥の巻き上げが多く，よく見ると *U. japonica* の破片と思われるものが混じっていたため，底泥からのコンタミが生じたと考えられる。

また，10μm 以下の小形の *Discostella* 属は，パイロシークエンスでは出現率が高かったが，計数では見落としがあった。しかし，このサイズの中心類珪藻は底泥が混じるような環境では，生サンプルを用いた計数は実際上困難である。

今回得られたデータのほとんどは，gene bank に登録が無く，培養サンプルを用い分子同定を行った。このことは，メタゲノム解析を行うためには，事前の遺伝子情報の充実が欠かせないことを示している。また，遺伝子抽出やＰＣＲなどでのバイアスも予想以上に大きかった。これは，データの信頼性に対する大きな問題点としてあげることができる。

辻彰洋，新山優子　2013.　ダム湖のプランクトン　http://research.kahaku.go.jp/botany/dam/
新山優子　2012. 藍藻類ユレモ目の新分類体系の紹介. 陸水学雑誌　73：187－196.

3C02

# 印旛沼における植物プランクトンの成長制限要因 −リンか、窒素か？−

*鏡味麻衣子（東邦大学理学部生命圏環境科学科）

## １．はじめに

植物プランクトンの成長制限要因として、湖沼においてはリンが最も重要であると言われてきた。しかし、近年、植物プランクトンの成長がリンだけでなく、むしろリンと窒素の両方に制限されている場合が多いことも明らかになっている。また、集水域からの窒素負荷量が増大しており、その削減の必要性も指摘されている。本研究では、日本で最も富栄養な湖の一つである印旛沼において、植物プランクトンの成長制限要因の季節変動を明らかにすることを目的として、野外調査および培養実験を行った。

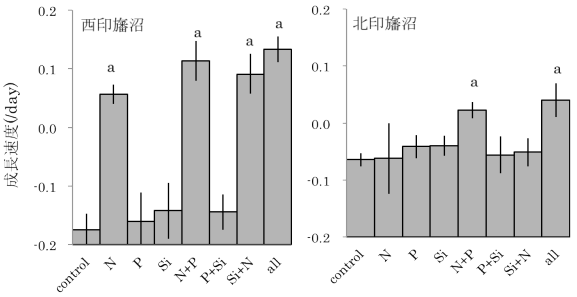
## ２．材料と方法

調査と培養実験は、2009 年および 2010 年の 2 年間行った。2009 年は西印旛沼において 3 月から 11 月まで毎週行い、制限要因の季節変動について検討した。2010 年は西および北印旛沼において 6 月から 10 月まで毎月行い、地点による制限要因の違いを検討した。培養にあたっては、湖水を 100μm のプランクトンネットで濾過し動物プランクトンを除去した後、濾過湖水(<0.2μm)で 6 倍希釈し、実験期間中の栄養塩の枯渇を最小限にした。この湖水を 100ml フラスコに分注した。成長が栄養塩によって制限されているかを調べるために、栄養塩を添加しないコントロール、栄養塩のうちリン、窒素、ケイ酸、および３種全てを添加する５つの処理区を設け(Control, +P, +N, +Si, +All)た。2010 年は５つの処理区に加え、更に３つの処理区（N+P,N+Si,P+Si）も設けた。各処理区についてそれぞれ３つのフラスコを用意した。これら全てのフラスコを２日間、水温と光を現場条件に合わせたインキュベーターの中で培養した。培養期間中のクロロフィル濃度変化から植物プランクトンの成長速度を算出し、各処理区間で比較した。

## ３．結果

2009 年の培養実験では、殆ど全ての日において、リンを添加した処理区(+P)で最も成長速度が高かった。リンと窒素を加えた処理区(+All)で更に成長が促進される事もあったが、それほど頻繁ではなかった。このことから、印旛沼の植物プランクトンの成長制限要因としてリンが最も重要であることが明らかとなった。一方、台風直後の実験（8/12）では、リンおよび窒素を添加しても植物プランクトンの成長が促進されることはなかった。この時、湖水中のリンおよび窒素濃度は高くなっており、河川水の流入の増加にともない栄養塩が供給され、植物プランクトンの成長が栄養塩に制限されなかったと考えられる。しかし、台風から 10 日後の実験（8/19）においては、窒素を添加したボトルで最も植物プランクトンの成長速度が高くなった。このような夏の窒素制限は、窒素濃度の減少に加え、外部からの栄養塩流入に伴う N:P 比の変化によって引き起こされたと推察された。

2010 年の培養実験では、7 月は両沼において窒素を添加した処理区(+N)で成長速度が有意に高く、リンと窒素を同時に加えた処理区(N+P, +All)で更に成長速度が高かった。このことから、第一に窒素が、第二にリンが植物プランクトンの成長を制限している事が明らかとなった。8 月は、西印旛沼では窒素を添加した処理区(+N,N+P,N+Si,+All)で成長速度が有意に高かった（図）。一方、北印旛沼では、リンと窒素を同時に加えた処理区(N+P, +All)でのみ、有意に成長速度が高くなった（図）。以上の結果から、2010 年 8 月は、植物プランクトンの成長制限要因は西と北印旛沼で異なり、西印旛沼では窒素が、北印旛沼ではリンと窒素が重要であるといえる。このような地点間での制限要因の違いは、栄養塩流入パターンの違いによる濃度の差に加え、優占している植物プランクトン種の違いによっても引き起こされたと推察された。




図．2010 年 8 月における西と北印旛沼の植物プランクトンの成長速度

## ４．考察

印旛沼の植物プランクトンの成長を制限する要因は年や季節、地点によって異なり、リンだけでなく窒素も重要であることが明らかとなった。これらの結果は、印旛沼の植物プランクトン量を制限するには、リンと窒素の両方を減少させる必要があることを示唆している。近年、印旛沼において、全リンよりもむしろ全窒素の濃度が増加する傾向が見られている。また、アオコの発生は 6 月から 10 月にわたり、顕著に見られ、平成 23 年度水質ワースト 1 となった。印旛沼の水質を改善するためには、今後は、リンと窒素両方の削減方法を検討する必要がある。

参考：Kagami et al. (2013) Limnology 14:51-58.

# 3C03　琵琶湖北湖沿岸域の異なる底質における付着藻類相

*石田典子（名古屋女子大学），宗宮麗（長崎大学）
後藤直茂（滋賀県立大学），三田村緒佐武（滋賀大学）

## １．はじめに

湖沼の沿岸域に生息する付着藻類は，砂泥，砂，小礫，大礫，岩などさまざまな粒径の底質上に見られる．付着藻類の種類構成，現存量および生産力は，これら基質の相違に関係することが予測され，沿岸域の基礎生産および物質代謝に影響することが考えられる．本研究では，沿琵琶湖北湖の沿岸域において，底質の異なる水域を選び，付着藻類の種類構成，現存量および基礎生産の測定を行った．採集時での変動はあるが，礫の優占する底質の地点で付着藻類の現存量が大きい傾向が認められること，しかし，同化数は，砂質における値は礫質における値に匹敵しており，小さい粒径の地点においても活性のある藻類が存在していることなどについてすでに報告した．今回は，それぞれの地点における付着藻類相の特性に関して，底質条件との関係において報告する．

## ２．方法と調査地点

琵琶湖北湖沿岸域における付着藻類の採集は，藻類種の季節的変化を考慮して，2011 年 8 月，11 月，2012 年 3 月および 6 月に行った．採集地点は予備調査の結果から，底質構造と相互の距離を考慮して選んだ 12 地点である．地点１，２および７，８については 8 ｍｍ以上の中・大礫が５０％以上を占める．地点６および１２については，中礫が優占する．地点３，４，５，９，１０については，砂質が優占する．地点１１は沈水性の水草が見られ，シルトが堆積していた．地点１１については，シルトが流失して，砂質が見られた 2012 年の採集時のみ，付着藻類の採集を行った．付着藻類の採集深度は，2011 年 8 月の調査日における各地点の 2 ｍ水深とし，毎回の採集は同じ場所において行った．各地点において，25 ｃｍの方形枠をそれぞれ４か所置き，その中の底質を，攪乱を避けるため，スキューバにより採取した．

礫についてはプラスチックブラシにより上面のみから剥ぎ落して採集し，砂質については底質上部の約 5ｃｍを採取したものについて，プラスチックパック内で，こすり合わせて剥ぎ落し，ろ過した湖水中に懸濁させて回収した．保冷して持ち帰った後，一部はクロロフィル *a* および光合成測定を測定に用い，残りの試料は種類構成と藻類量を分析するための試料とした．藻類各種の計数と細胞容積の測定を顕微鏡下で行い，種類ごとの藻類量を測定した．藻類の群集構造は，４つのコドラートにおける値の平均として，藻類量により示した．

## ３．結果および考察

４回の採集調査時の栄養塩類濃度は，リン酸濃度について，地点９と１０では，時に高い値はみられたものの，地点間で著しい濃度の違いは認められなかった．水温，pH,電気伝導度および溶存酸素濃度についても地点間での相違は小さかった．

2011 年 8 月および 11 月の付着藻類の群集構造を図１に示した．いずれの時季においても緑藻および珪藻に所属する種群が各地点において優占的に出現していた．砂質が優占する底質である地点のうち，ほぼすべての地点４，５，９，１０では，小さい糸状体の藍藻（*Oscillatoria* や *Anabaena* など）が出現した．一方，中礫以上の礫質の底質である地点（地点１，２，６，７，８，１２）においては，大型の緑藻（*Spirogyra* や *Cladophora* など）が少なくともいずれかの時期について，優占的に出現した．各地点の付着藻類の群集構造は，同じ底質構造である地点間で似た傾向を示した．大型の緑藻は例外的に砂質の地点５でも見られた．採集時期により，変動があるが，岩や大礫が優占する地点１と８では，クロロフィル *a* 量でみた現存量には高い傾向が見られ，これら大型の緑藻類の寄与が大きいと考えられる．2011 年 8 月の珪藻群集を例にみると，大型の *Epithemia turgida* などこの属の種群が地点１，８，１２で優占し，一方，砂質の地点については，湖西側の地点３，４では *Cocconeis placentura* var. *lineata* が，また，湖東側の地点９，１０では *Fragilalia* 属の種群が優占的に出現していた，本研究の結果は，底質構造に見られる特性は，付着藻類の藻類量，群集構造，種類構成を限定する主要な要因であることを示すと考えられる．

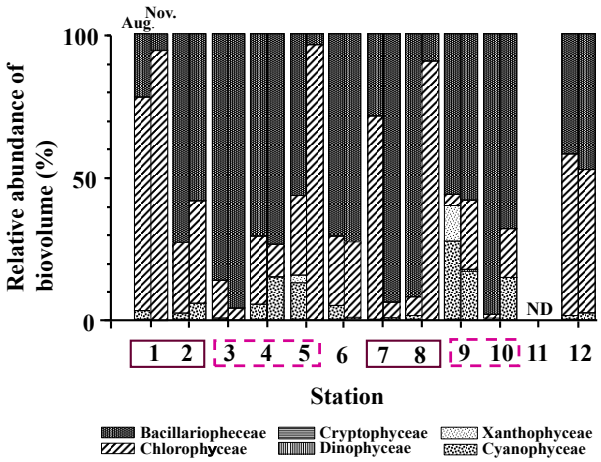



図１　付着藻類の群集構造（2011 年 8 月，11 月）

本研究は，平成 23～25 年度文科省科研費（基盤研究（C），課題番号 23510015 の一環として行われた．

3C04

# 諏訪湖における魚類寄生性ケンミジンコの確認

○　戸田 龍太郎(信州大・理工学系研究科)　花里孝幸(信州大・山岳科学総合研究所)
○

・はじめに

ニセエラジラミ類は、ケンミジンコ目・ニセエラジラミ科に分類される魚類寄生性ケンミジンコであり、世界・日本各地の淡水および汽水域で出現する。日本では 6 属 19 種が確認されている。養殖場等でしばしば大量発生し、魚が死亡するなどの水産的被害が出たこともある。本種は、幼生期はプランクトンとして水中に出現し、成体メスのみが魚類の体表等に寄生する、いわゆる半プランクトン・半寄生という極めて特異な生活史を持っている。このような生活史のため、日本における分類体系も 2007 年に確立されたばかりであり、生態学的知見は不足している。このような中、演者は長野県諏訪湖でワカサギに寄生するニセエラジラミ類を発見した。諏訪湖はワカサギを中心とした内水面漁業が盛んであるが、これまで本種の詳細な報告はなかった。また、プランクトン期の本種も同様に、長年調査が行われてきたにもかかわらず、報告はおろかその存在すら認識されていない。そこで、本研究では諏訪湖におけるニセエラジラミ類の分布状況を季節的、空間的な分布を明らかにすること共に、プランクトンの採集および魚類(ワカサギ)の採集を行い、寄生虫およびプランクトンの両方の側面から本種の生態を把握することを目的とした。

・方法

1. ワカサギに寄生するニセエラジラミ類の採集

ワカサギは全て諏訪湖湖心にて採集された。2012 年 5 月 25 日から 7 月 11 日までは隔週で仔魚ネットを用いて採集し、それ以降は 11 月まで月に 1 度の頻度で長野県水産試験場諏訪支場からの提供を受けたものをサンプルとした。2013 年は 4 月と 5 月に採集を行ったものまで解析を行った。採集したワカサギは全て当歳魚である。

2. 湖水中に分布するニセエラジラミ類の採集

2012 年 8 月 22 日に長野県諏訪湖にて、湖心および沿岸帯 4 地点にてサンプリングを行った。プランクトンの採集は、湖水を水柱状に採ってプランクトンネットで越し集めた。

また諏訪湖湖心にて、2012 年 5 月 25 日から 11 月 28 日まで、水柱状にプランクトンを定量採集した。さらに、日中-夜間に諏訪湖にてプランクトン採集を行った 2011 年のサンプルの再解析を行い、日中-夜間での鉛直分布の変化を調べた。

・結果と考察

ワカサギから、*Ergasilus hypomesi* Yamaguti,1936(ワカサギニセエラジラミ)、*Ergasilus auritus* Markevich,1940(ダルマニセエラジラミ)、*Neoergasilus japonicas* Harada,1935(ヤマトニセエラジラミ)3 種のニセエラジラミ類を確認することができた。1 魚種から同科 3 種類もの寄生虫が確認された。これは諏訪湖には、放流によりワカサギは豊富に存在し、宿主として利用するには適した存在であるからであると考えられる。ワカサギに寄生していたニセエラジラミ類の寄生率は、7 月と 10 月にピークが見られた。これは湖心におけるプランクトン中のニセエラジラミ類の出現と一致する。また、越冬した翌年のワカサギにも寄生を確認できた。この時湖水のプランクトン中にニセエラジラミは存在していなかったことから、ニセエラジラミ類はワカサギの体表に寄生した状態で越冬し、翌春再生産を行うことが示された。

湖心および沿岸帯 4 地点のすべての湖水中から、プランクトン期のニセエラジラミ類を確認することができ、その密度は湖心より沿岸帯の方が高い結果となった。これは沿岸帯の方が魚類が多いため、ニセエラジラミ類にとって魚に寄生しやすい環境であるからであると考えられる。日中-夜間の密度分布は日中に下層、夜間には表層を中心に分布する傾向となった。この分布はワカサギの日中-夜間分布と一致し、宿主とニセエラジラミ類の分布が同調する可能性が示唆された。

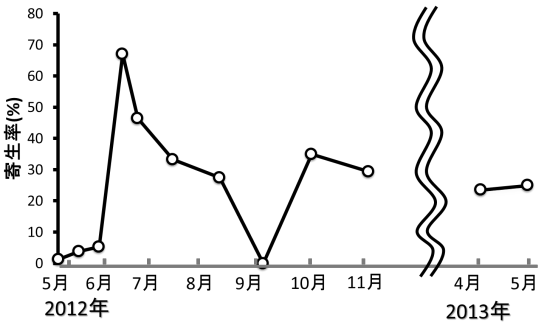



図 ワカサギ当歳魚へのワカサギニセエラジラミ(*Ergasilus hypomesi* Yamgauti 1936)の寄生率

# 3C05　琵琶湖のカイアシ類 *Eodiaptomus japonicus* の生活史特性に与える水温の影響

*リュウ　キン、Delphine Beyrend-Dur、Gaël Dur、伴　修平（滋賀県立大学環境科学部）

## １．はじめに

近年の地球温暖化影響が、水圏生態系における一次生産や食物網にどのような影響を与えるのか注目されている。カイアシ類は湖沼生態系における一次消費者であり、水圏食物網の要であることから、これへの温暖化影響を評価することは重要である。*Eodiaptomus japonicus* は琵琶湖で優占するカイアシ類であり、周年に渡って優占する。本種については、これまでに琵琶湖での分布状況および野生個体の成長時間について明らかにされている。しかし、成長と再生産に対する水温影響はまだ明らかにされていない。本研究では、異なる水温における *E. japonicus* の生活史特性を調べ、水温に対する体成長および個体群成長の応答を明らかにした。

## ２．材料と方法

2011 年 9 月 12 日と 2012 年 8 月 17 日に、琵琶湖北湖の定点よりプランクトンネットの鉛直曳にて、*E. japonicus* 抱卵雌を採集し、ストックカルチャーを作成した。餌として *Chlamydomonas reinhardtii* と *Cryptomonas tetrapyrenoidosa* を 1:1 の混合比で、密度が $10^5$ cells $ml^{-1}$ となるように与え、15ºC、12L：12D で飼育した。実験には、ストックカルチャーで 2 世代目の雌から生まれた N1 幼生を用いた。12 時間以内に生まれた N1 幼生 36-86 個体について、それぞれ飼育水を満した 10ml の培養プレートに移し、$5\times10^4$ cells $ml^{-1}$ でストックカルチャーと同じ藻類を与えて飼育した。10ºC と 15ºC では 12 時間間隔、20ºC と 25ºC では 6 時間間隔でそれぞれ観察し、成長段階、頭胸長および生死を記録した。各成長段階の体重と成長時間より各温度での体成長率を求めた。再生産パラメータについては、ストックカルチャーから二世代目の雄と雌をソートし、10～20 ペアについて 1 ペアずつ飼育水を満たした 30ml のビーカーに移し、前述の実験と同じ餌条件にて、同じ温度条件で飼育し、死亡するまで産出した卵数などを記録した。得られた値を用いて各温度での内的自然増加率を計算した。

## ３．結果

*E. japonicus* の後胚発生時間は水温の上昇に伴って指数関数的に低下し、図に示した関数として表すことができた（Fig. 1）。頭胸長は温度の上昇と共に減少し、産卵速度は 10ºC～25ºC で 1.3 から 5.7 eggs $female^{-1}$ $day^{-1}$ まで増加した。各温度での体成長率 *g* はべき乗で（Fig. 2）内的自然増加率 *r* は線形で（Fig. 3）それぞれ水温上昇に伴って増加した。

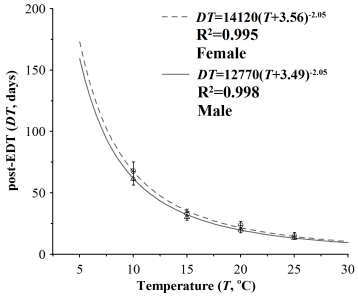



**Fig. 1 Relationship between temperature and post-embryonic development.**

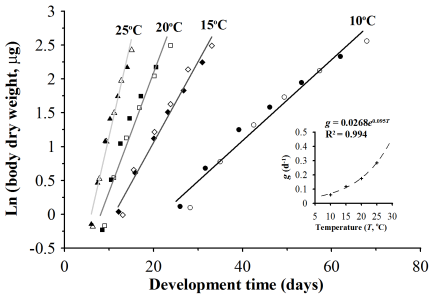



**Fig. 2 Growth rate of male (solid symbols) and female (open symbols) at four temperatures. The inset represents the relationship between instantaneous growth rate (*g*) and tested temperatures.**

## ４．考察

本研究で求めた温度に対する *E. japonicus* の *g* と *r* は、いずれも冬期の水温（7～8°C）では個体群成長が見込めないことを示した。これは冬期間に琵琶湖における本種の個体群サイズが極めて小さいことを裏付けた。

IPCC (2007)は、21 世紀末の大気温が平均で 2.8ºC 上昇すると予測した。本研究で得られた温度関数を用いると、この水温上昇は冬期間の本種個体群成長を可能とすることが分かる。従って、十分な餌条件下では、温暖化によって *E. japonicus* の個体群サイズは増加することが予測できた。しかし、環境中では餌制限を受けている可能性があり、今後、餌条件が成長および再生産に与える影響について明らかにする必要がある。

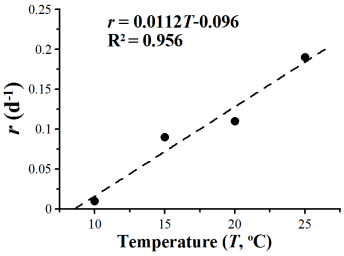



**Fig. 3 The population growth rate (*r*) of *E. japonicus* reared at four temperature conditions.**

# 3C06　浮葉植物帯形成に伴う動物プランクトン群集の変動

*大久保貴史，花里孝幸
（信州大・山岳科学総合研究所）

## 1. はじめに

湖沼沿岸域は，沖帯と比較して動物プランクトンの種数が多いといわれている．それは，沿岸の抽水植物・浮葉植物・沈水植物からなる水草帯では水質(水温・溶存酸素濃度・pH)が時空間的に多様であり，水草が動物プランクトンの付着基質となることで多くの種の共存が可能となるためである．また，動物プランクトンは湖沼生態系において，植物プランクトンの捕食者や魚類の餌という面で食物連鎖における重要な役割を担っている．

近年，諏訪湖の沿岸域において浮葉植物であるヒシ *Trapa japonica* が大量に繁茂するようになった．これらは漁船の運行阻害や腐敗による悪臭といった面で問題となり，しばしば試験的に刈取りが行われているが，動物プランクトン群集に与える影響については十分に検討されていない．水草帯は動物プランクトンのハビタットや捕食からの隠れ場として利用されているが，浮葉植物帯における調査例は少なく，ヒシの繁茂から枯死に至る過程において動物プランクトン群集が変動する可能性がある．

そこで本研究では，ヒシ帯形成に伴う動物プランクトン群集の季節的変動を明らかにすることを目的とした．

## 2. 方法

2012 年 6 月から 2012 年 11 月にかけて約 3 週間隔で諏訪湖の定点（ヒシ帯 3 地点，近傍の開放水面 3 地点）にて調査を行った．水中遊泳の動物プランクトンを定量採取後，個体群密度(ind./L)を求めた．水草付着の動物プランクトンはヒシ茎部に付着しているものを採取後，ヒシ茎部の乾燥重量当たりの個体群密度(ind./DWg)を求めた．表層水を一定量採水し，動物プランクトンの餌の指標としてクロロフィル *a* 濃度(μg/L)を測定した．またヒシ茎部の付着性藻類を採取し，クロロフィル *a* 濃度(μg/DWg)を測定した．環境要因として，水深 40cm における相対光量子密度(%)を測定した．

## 3. 結果と考察

調査地点における相対光量子密度は，ヒシの繁茂が最大となった 8 月において，開放水面では 51.8～52.0%であるのに対し，ヒシ帯においては 6.0～10.9%と低い値を示した．

水中遊泳の動物プランクトン群集は調査期間を通してワムシ類が優占的に出現した．8 月 25 日の調査では，甲殻類個体群密度は開放水面よりもヒシ帯において有意に高くなった($p<0.05$, 図 1)．調査期間を通して，水中のクロロフィル *a* 濃度は，開放水面よりもヒシ帯において高い傾向を示した(図 1)．水草付着の動物プランクトンの個体群密度は，ワムシ類は 7 月の中旬に最大となり，甲殻類は 8 月の下旬に最大となった(図 2)．甲殻類においては，付着性動物プランクトンとされているマルミジンコ科やシダ *Sida crystallina* が確認された．水草付着のクロロフィル *a* 濃度は 6 月の中旬と 10 月上旬において高い値を示した．

このことから，ヒシ帯における動物プランクトンの個体群密度及び種組成の変動は，ヒシの繁茂により内部の光環境や水草による物理的構造が変化することによって，水中遊泳の甲殻類や水草付着性の枝角類が，ヒシ帯をプランクトン食魚からの隠れ場やハビタットとして利用していると考えられた．また，ヒシの浮葉により光が遮られているにも関わらず，ヒシ帯表層水のクロロフィル *a* 濃度が開放水面よりも高い傾向を示したのは，風による植物プランクトンの吹き溜めや，付着藻類の混入といった要因が挙げられるが，それによりヒシ帯が動物プランクトンの餌場となっていることが示唆された．

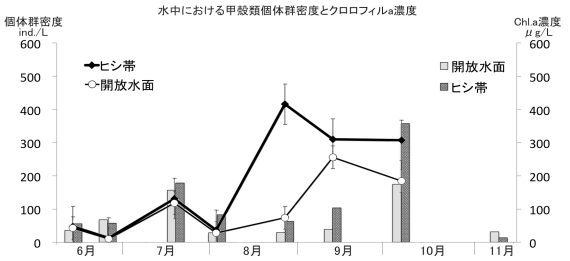



図 1. 水中における甲殻類個体群密度と
クロロフィル *a* 濃度の季節変動

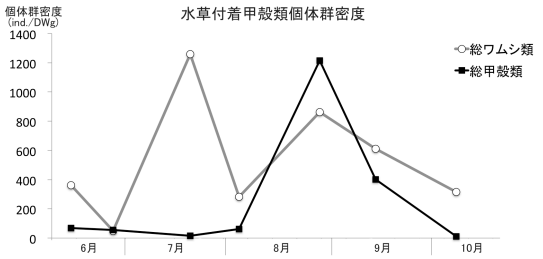



図 2. 水草付着甲殻類個体群密度の季節変動

3C07

# 富栄養湖におけるワカサギ仔魚の餌選択性と動物プランクトン群集の関係について

*君島祥（信州大学山岳科学総合研究所）、戸田龍太郎（信州大学山岳科学総合研究所）
河野成実（長野県水産試験場諏訪支場）、花里孝幸（信州大学山岳科学総合研究所）

## １．はじめに

ワカサギ (Hypomesus olidus)は、北海道から本州の千葉県以北と島根県以北に分布する回遊魚で、環境に対する適応性が高いことから多くの河川や湖沼に移植され、内水面漁業や遊魚として重要な魚種となっている。長野県の中央に位置する富栄養湖である諏訪湖においても、1915 年に霞ヶ浦よりワカサギが移植され、今日においても重要な水産資源となっている。

近年の諏訪湖ではワカサギの漁獲量が低下傾向にあり、しばしば問題として取り上げられている。しかし、ワカサギ漁獲量の低下の要因についてはあまり分かっていない。

そこで、本研究では諏訪湖に生息するワカサギ仔稚魚を採集し、ワカサギ漁獲量の低下の要因について調査した。仔稚魚の生態を明らかにすることは資源変動要因を検討する上で重要な課題である。

## ２．調査および実験方法

調査は、長野県の諏訪湖において、2012 年 5 月 23 日から 7 月 11 日と 2013 年 4 月 12 日から 7 月 18 日にかけて、おおよそ 10 日に 1 回の頻度で行った。

調査は、湖の東側の沿岸帯 (水深 4m)と湖心 (水深 6m)の 2 地点で行い、それぞれの地点で表層と中層 (水深 2.5m)をネットで曳いた。

ワカサギ仔稚魚の採集は、口径 120cm、長さ 350cm の稚魚ネットを用い、小型船舶で 3 分間稚魚ネットを曳行して行った。曳行の際には、稚魚ネットが十分に水中に没するように、稚魚ネットに錘と球形のブイを付け、稚魚ネットの深度を調整した。採集したワカサギ仔稚魚は速やかにホルマリンで固定した。

また、それぞれの地点において、水温、溶存酸素濃度、pH の測定と動物プランクトン群集の採取も同時に行った。

採集したワカサギ仔稚魚を実験室に持ち帰り、体長を測定したのちに解剖し、消化管内容物を計数した。その後、消化管内容物と湖水中のプランクトン組成から Chessson’s index を算出した。

## ３．結果

ワカサギ仔稚魚の体長は、5 月から 6 月にかけては 12～15mm 程度であったが、7 月以降には 20mm 以上となった。

ワカサギ仔稚魚の餌選択性は、5 月から 6 月にかけてはカイアシ類の幼生であるノープリウスやワムシ類のネズミワムシやツボワムシを選択的に捕食していたが、7 月以降では、より大型の枝角類のゾウミジンコ属やノロを選択的に捕食していた。

## ４．考察

ワカサギ仔稚魚は成長に応じて、ツボワムシやノープリウス等の小型種から、ネズミワムシのような有刺のワムシ類へと餌の選択性を変化させ、体長が 20mm 以上の個体ではワムシ類よりも大型の枝角類を選択的に捕食するようになった。このような餌選択性の推移は過去の報告とも一致している。

これは、諏訪湖では春先にワムシ類が出現し、5 月以降にゾウミジンコ属が出現し、夏になると大型のノロが出現する季節的遷移が顕著であるため、諏訪湖のワカサギは成長に応じてより大型の餌生物を捕食することが可能であったと考えられる。

しかし、過去の報告と比較すると、本研究で採集されたワカサギの消化管内容物は少ない傾向にあった。従って、現在の諏訪湖のワカサギは餌不足にあることが示唆された。

諏訪湖の動物プランクトン群集の季節的遷移はワカサギの成長には好適であるが、水質浄化によって動物プランクトンの密度が低下し、ワカサギ漁獲量の低下が引き起こされた可能性がある。

# 3C08 ガンカモ類の原単位算出および積上げ法による負荷量算出の提案

*中村雅子，矢部 徹（(独)国環研），相崎守弘（島根大）

## １．はじめに

近年，日本に越冬に訪れるガンカモ類がネグラとする水域（以下，ネグラ水域とする）において，ガンカモ類が持ち込む栄養塩により、水質が悪化することが報告されている。ガンカモ類は採食場とネグラ水域を行き来する生活をしているため、採食場からネグラ水域に栄養塩（N・P）を排泄物として持ち込んでいることが考えられている。一方で，負荷量が大きいと予測される個体サイズの大きなハクチョウ類やマガンが全国的に増加傾向にあり，今後，新たに水質悪化がみられる水域や水質悪化が進むネグラ水域が増加する可能性が多いに考えられる。そこで、ガンカモ類による栄養塩負荷量を予測、把握することが重要である。しかしながら，国内において、ガンカモ類による栄養塩負荷量を詳細に計算した研究例はない。本研究では，ガンカモ類の種組成が異なる水域に応用できるように、ネグラ水域に持ち込む栄養塩負荷量、原単位をガンカモ類 1kg あたりという単位で算出することを試みた。

## ２．材料と方法

水鳥 1 kg が 1 日に排出する栄養塩量 LI を以下の式により求めた。

$$LI = EQ \times ENR \cdots (1)$$

ここで，EQ は 1 羽あたりの 1 日の排泄物量（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$），ENR（%）は排泄物中の栄養塩含有率とする。ENR は排泄物を採取し分析を行った結果を用いた。また，EQ は

$$EQ = (FMR / FE) \times ER \cdots (2)$$

ここで，FMR は野生下における代謝エネルギー量（kcal $kg^{-1}$ $day^{-1}$），FE は採食物の単位エネルギー量（kcal $g^{-1}$），ER は採食物量に対する排泄率（%）（呉地・大津 1982）を示し、採食物量（gdw）と排泄物量（gdw）から算出する。また，野生下における代謝エネルギー量（kcal $kg^{-1}$ $day^{-1}$）は Nagy（1991）の鳥類の式から求めた。この排出原単位 LI（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$）を用いて，ガンカモ類のネグラ水域への負荷原単位 U（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$）を以下の式により求めた。

$$U = LI \times DR \cdots (3)$$

ここで，LI は排出原単位，DR（%）は排泄物の水中での分解率を示す。DR はガンカモ類の排泄物の分解実験の結果の値を用いた。

さらに、U（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$）を用い、ネグラ水域全体に負荷される栄養塩量 LL（kg）以下の式によって求めた。

$$LL = U \times RTF \times TWW / 1000 \cdots (4)$$

ここで、U（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$）は負荷原単位、RTF は滞在係数，TWW（kg)はガンカモ類述べ総体重（Nakamura et al. 2010）を示す。TWW はガンカモ類の飛来数、ガンカモ類の平均個体重および滞在日数から算出し、RTF は滞在時間 / 24 で求められる（Boros et al. 2008）。表に用いたデータを整理した。

表 ガンカモ類の負荷原単位算出に用いたデータ

| | | |
|---|---|---|
| ENR (%) | 排泄物中の窒素およびリン量 | 演者ら |
| FMR(kcal $kg^{-1}$ $day^{-1}$) | 野生下における代謝エネルギー量 | Nagy 1991 |
| FE (kcal $g^{-1}$) | 採食物の単位エネルギー量 | 呉地・大津 1982 |
| ER (%) | 採食物量に対する排泄率 | 呉地・大津 1982 |
| DR (%) | 排泄物の水中での分解率 | 演者ら |
| RTF | 滞在係数 | Boros et al. 2008 |
| TWW (kg) | ガンカモ類述べ総体重 | Nakamura et al. 2010 |

## ３．結果と考察

1 日の排泄物量 EQ（g $kg^{-1}$ $day^{-1}$）：45、排泄物中の窒素量 $ENR_N$（%）：3.71，排泄物中のリン量 $ENR_P$（%）：0.67、排泄物中の窒素の水中での分解率 $DR_N$（%）：約 65、排泄物中のリンの水中での分解率 $DR_P$（%）：約 50 と算出された。以上の値から、窒素の負荷原単位 $U_N$(g)は 1.1、リンの負荷原単位 $U_P$(g)は 0.15 と算出された。すなわち、1kg のガンカモ類が 1 日中水域で過ごすと、窒素を 1.1 g，リンを 0.15 g を負荷するということになる。

また、ネグラ水域全体に負荷される栄養塩量 LL（kg）を 1999 年度の鳥取県米子水鳥公園を例に以下に算出した。観察より RTF は 0.56、TWW（kg)は 1,020,776 であったことから、$LL_N$：約 600kg $LL_P$：90kg と算出された。同公園の 2004 年度の飛来数で同様に算出すると、RTF は同値であったが、TWW（kg)は 683,920 と減少しており、その結果、$LL_N$：約 400kg　$LL_P$：60kg と算出された。

このように、体重を単位に原単位を算出することで、飛来数の変化による負荷量の変化を、簡便に算出することが可能であった。今後、算出した負荷量と水域の水量から予測される栄養塩濃度の増加量と実測値との比較をし、補正をすすめる必要がある。

ガンカモ類の飛来池は全国に多数あるが、水域により種組成が異なることが多く、負荷量の計算が複雑であった。負荷原単位の積上げ法を用いると、各水域のガンカモ類の飛来数、滞在期間および水域での滞在時間がわかれば、水域への負荷量を素早く算出することができるため有用な方法だと考える。