一般講演

Ｂ会場

２号館 103 講義室

2B01 ～ 2B11

3B01 ～ 3B10

日時：９月１２日（木）9:30～12:15

９月１３日（金）9:30～12:00

2B01　蛍光マイクロプレートアッセイを用いた各種除草剤に対する河川付着藻類の感受性差の評価

*永井孝志、多屋清志、依田育子（独立行政法人農業環境技術研究所）

１．はじめに

除草剤は藻類に対する毒性が強いため、田んぼから河川に流出した際の影響が懸念される。これまで農薬を含む化学物質の生態影響評価に用いられてきた藻類は、ノルウェー原産の浮遊緑藻 *Pseudokirchneriella subcapitata* であるが、日本にはこの種は生息しておらず、そもそも農薬の濃度が比較的高くなる河川において浮遊緑藻はほとんど生息しない。一方、日本の河川生態系の重要な生産者である珪藻などの付着藻類種に対する毒性データは、これまでほとんど整備されていない。

そこで本研究では、複数の付着藻類の試験生物種の選定を行い、生物種による感受性の変動性を明らかにすることを目的とした。しかしながら、OECD テストガイドラインに代表される従来の毒性試験法では、複数の藻類種に対し多数の試験を行うには労力がかかりすぎ、そもそも付着藻類の試験には適さない。そこで、マイクロプレートの底に藻類を付着させて培養し、ボトムリードの蛍光プレートリーダーを用いてバイオマスの測定を行う、ハイスループットの試験系を構築した。

２．材料と方法

試験生物種は、①日本の河川に広く分布している種であること、②幅広い分類群からの種を含むこと（実際の河川における種構成を反映させる）、③幅広い適応環境から種を選定すること、等を考慮して以下の 5 種類とした：緑藻 *Desmodesmus subspicatus* NIES-797、珪藻 *Nitzschia palea* NIES-487、珪藻 *Achnanthidium minutissimum* NIES-71、珪藻 *Navicula pelliculosa* UTEX-B673、シアノバクテリア *Pseudanabaena galeata* NIES-512。

蛍光マイクロプレートアッセイを応用した 5 種同時毒性試験を行った。試験対象物質として、表 1 に示す 15 種類の水稲用除草剤を使用した。基本的な試験設計は OECD テストガイドライン 201（藻類生長阻害試験）に従った。ただし、容器として 96 穴マイクロプレート、光強度は 3000 lux、温度は 22℃、培地は CSi 培地を用いて、4 日間の培養試験を行った。緑藻と珪藻はクロロフィル蛍光、シアノバクテリアはフィコシアニン蛍光をバイオマスの指標として、培養期間の増殖速度を測定した。各試験において増殖速度に対する半数影響濃度（EC50）を決定した。

また、除草剤の作用機作を Herbicide Resistance Action Committee の分類に従って分類し、作用機作と感受性の関係について考察した。

３．結果と考察

15 種類の除草剤を用いた 5 種同時毒性試験の結果を表 1 に示す。EC50 値は大きな種間差があり、特に ALS 阻害系、PPO 阻害系、VLCFA 阻害系の除草剤では種間差が大きい傾向が見られた。感受性の順序も作用機作によって異なる傾向を示し、ALS 阻害系ではシアノバクテリア、PPO 阻害系と VLCFA 阻害系では緑藻、4-HPPD 阻害系では珪藻が最も高感受性であった。ACCase 阻害系、脂質生合成阻害系、その他の作用機作では種間差が小さく明確な傾向はみられなかった。すなわち、特性の生物種が最も高い感受性を示すことは無く、複数種の試験結果を用いた生態影響評価が必要となることが示唆された。

表１．15 種類の除草剤の作用機作と 5 種の付着藻類に対する感受性（EC_{50} 値, μg/L）

農薬	作用機作	*P. galeata*	*D. subspicatus*	*A. minutissimum*	*N. palea*	*N. pelliculosa*
シハロホップブチル	ACCase阻害	>233	>233	>233	>233	>233
ベンスルフロンメチル	ALS阻害	4.1	148	>6020	>6020	>6020
ペントキサゾン	PPO阻害	>220	0.1	>220	5.7	59
ピラクロニル	PPO阻害	>4960	1.0	1260	58	1050
テフリルトリオン	4-HPPD阻害	>101000	>101000	9980	22630	23000
ベンゾフェナップ	4-HPPD阻害	>238	>238	132	66	15
ベンゾビシクロン	4-HPPD阻害	>182	>182	>182	>182	>182
プレチラクロール	VLCFA阻害	>4000	62	5070	15100	1300
ブタクロール	VLCFA阻害	>3580	38	5120	6210	947
メフェナセット	VLCFA阻害	>10500	624	>3030	>3200	5810
カフェンストロール	VLCFA阻害	>11100	8.3	8600	5690	9540
フェントラザミド	VLCFA阻害	>4100	50	11000	3580	54800
ベンフレセート	脂質生合成阻害	>23000	21700	9950	76000	95000
エスプロカルブ	脂質生合成阻害	1560	349	>3180	4090	1760
ピリミスルファン	その他	154	118	>5370	4390	>5370

2B02　渓流の瀬におけるリター堆積の藻類生産促進効果

*加賀谷隆，後藤元保（東大院・農学生命科学）

１．はじめに

森林渓流における藻類の生産速度は，光制限がない場合，窒素（N）やリン（P）によって制限されていることが多い。渓畔より渓流に流入する葉リターからは，流入直後の短期間に可溶性の N や P が溶脱する。また，葉リターを食物とする破砕食性底生動物（シュレッダー）の摂食・同化過程で，体内に取り込まれない N や P は排泄物として放出される。しかしながら，N や P の含有率が低い葉リターは，藻類に対する栄養素供給源としてこれまで軽視されてきた。藻類生産の大きな瀬においては，リターは石礫の上流側に集中して堆積する。したがって，溶脱やシュレッダーの栄養塩放出にともない，リター直下流の石礫に生育する藻類に利用可能な栄養塩が高濃度で供給され，藻類生産を促進する可能性がある。

本研究では，森林渓流の瀬において，様々な樹種や条件の葉リターおよびシュレッダーの存在が，石礫表面の藻類と付着物食性底生動物（グレイザー）に与える影響を，野外実験と室内実験により評価することで，リター堆積の藻類生産促進効果を明らかにすることを目的とする。

２．材料と方法

①野外実験

多摩川支流の河道上部の樹冠が開放されている二次河川において，3 つの実験を行った。いずれの実験においても，樹木の落葉もしくはポリエチレン製の疑似葉を封入したメッシュバッグとレンガを近接させて棒で固定した装置を，バッグを上流側にして河床に設置し 7～12 日後に回収した。レンガ上面の付着物のクロロフィル a 量と有機物量を測定するとともに，レンガに定着したグレイザーの個体数を計数した。

●実験Ⅰ：フサザクラ，ハンノキ，アカガシ，コナラ，ケヤキ，チドリノキの枯葉と疑似葉（対照）を用いて，枯葉からの溶脱の影響を検討した。

●実験Ⅱ：ハンノキ緑葉と疑似葉（対照）を用いて，緑葉からの溶脱の影響を検討した。

●実験Ⅲ：初期溶脱と微生物定着を経たチドリノキ枯葉とともに，シュレッダーのオオカクツツトビケラを封入したバッグとしないバッグ（対照）を用いて，シュレッダーの影響を検討した。

②溶脱実験

野外実験の実験Ⅰで用いた 6 樹種の枯葉を対象とした。葉を渓流水とともに瓶に封入し，7 日後の N と P の減少量を求め，各樹種の相対的溶脱量を推定した。

３．結果

①野外実験

●実験Ⅰ：レンガ上のクロロフィル a 量には処理間で差が検出され，フサザクラ区は対照の 3 倍であった（図）。グレイザー定着個体数には処理間で差は認められなかった。

●実験Ⅱ：ハンノキ緑葉区のレンガ上のクロロフィル a 量，グレイザーのコカゲロウ属の定着個体数は，それぞれ対照の 45%，40%であり有意に小さかった。

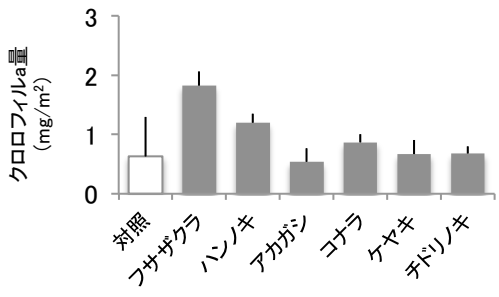
●実験Ⅲ：シュレッダーの存在は，クロロフィル a 量を高める傾向があった（$P = 0.09$）。シュレッダーの有無によるグレイザー定着個体数への影響は認められなかった。

②溶脱実験

フサザクラの枯葉では，N，P の正味の減少が認められた。各樹種枯葉の N，P 減少量と，野外実験の実験Ⅰにおけるクロロフィル a 量には正の相関が認められた（N, $r_s = 0.89$; P, $r_s = 0.81$; ともに $P < 0.05$）。

４．考察

森林渓流の瀬において，枯葉リターの堆積は，直下流の石礫に生育する藻類の生産を促進する効果を示す証拠が得られた。溶脱実験の結果を考慮すると，野外実験区間の藻類は栄養塩制限を受けており，葉リターからの溶脱栄養塩によって生産が促進されたものと考えられる。一方，ハンノキ緑葉の堆積は，藻類やグレイザーに負の影響を与えた。ハンノキ緑葉は，N，P 含有率が高いものの，フェノール含有率も高いことが知られており，溶脱したフェノールが藻類に負の影響を与えたと考えられる。シュレッダーの存在は，統計的に有意ではなかったものの藻類生長に対し正の影響があることが示唆された。シュレッダーの栄養塩放出速度は，種や食物とする葉の樹種によって異なるため，シュレッダーの藻類生産への影響を理解するには，様々なシュレッダー種と樹種の組み合わせを検討する必要がある。



図．レンガ上のクロロフィル a 量の処理間比較

2B03 出水と河床礫上における付着藻類の回復

*岡田久子（明治大・農），倉本宣（明治大・農）

１．はじめに

河床の礫上に付着する多様な藻類は、遅かれ早かれ、水流によって剥離し、下流域における汚濁源となる。出水の規模が大きくなるほど、水流による剥離量は大きくなる。やや大きな中規模出水では上流から移動する砂礫が表面を磨耗しながら流れ下ることによっても藻類はそぎ取られる。さらに大規模な出水では藻類が付着したまま礫自体が下流へ移動し河床では代わりに上流から移動してきた新しい礫と入れ替わる。付着藻類の現存量は、出水によって減少し、その後時間の経過とともに回復するが、出水規模により、回復し始める際の基質表面の付着状態は異なる。

河床付着膜が発達する過程において、大規模出水により付着基質が新しくなった場合には、まず細菌膜が形成され、その後に藻類が出現して対数増加する。付着藻類が出現するまでの細菌膜形成の期間は遅滞期と呼ばれるが、この遅滞期の長さには、水温や濁度、堆積物などの環境条件が影響すると考えられる。

本研究では、出水後の河床における付着藻類の回復に影響する要因について明らかにすることを目的とした。東京を流れる多摩川中流において、河床付着膜の発達過程を調べ、出水後の付着膜発達過程に影響する要因について、整理検討をおこなった。

２．材料と方法

2-1. 出水と付着藻類量

河口から 52.2km の早瀬において、2007 年～20013 年の毎年 4 月下旬～5 月に糸状緑藻の付着被度を測定し、前年の出水との対応関係を調べた。

2-2. 付着膜の発達

2-2-1. 季節変化

1 月 13 日、8 月 28 日、10 月 26 日に、コンクリートブロック（30cm×30cm、厚さ 5cm）3 ヶを約 25cm/s、約 15cm の河床に設置し、経時的に 5cm×5cm の領域をブラシで剥ぎ取り、付着物を試料とした。

2-2-2. 出水規模とその後の付着膜の回復

河床付着物に出水の規模に対応した人工的な出水のインパクトを与える実験的操作を実施し、その後の付着物の回復を調べた。

ア） 前処理なしで、そのまま（control）
イ） 流れの速い場所（約 100cm/s）へ 20 分間移動（小規模出水）
ウ） ブラシかけ 20 回（中規模出水）
エ） 新しい河原の石（大規模出水）

処理イ）～エ）は出水の規模に対応した人工的な出水のインパクトを付着表面に与えたもので、イ）は小規模出水、ウ）は中規模出水、エ）は大規模出水に対応する。ア）は control である。

ア）～ウ)のグループごとに 15 ヶの石を河床から取り出して、前処理を実施した。その後付着物を採取して、流速約 20cm/s・水深約 9cm のコドラート内に設置した。処理エ）は、河原の新しい石 15 ヶを採取して、同じコドラート内に設置した。6 日後、20 日後、35 日後にグループごとに各 5 ヶの石を取り出して付着物を採取し分析試料とした。

2-2-3. 光条件と付着膜の発達

素焼きのタイル（3 ㎝×5 ㎝、厚さ 7㎜）10 枚をクリップで貼り付けたＬ型アングル（45 ㎝長）を 4 本用意し、そのうち 2 本を、平織り金網で水面上を覆い約 30%の光条件になるように遮蔽した河床に設置、残り 2 本を覆っていない近傍の河床に設置した。経時的にタイルを採取し、付着物をブラシで剥ぎ取って試料とし、付着膜の発達を比較した。

３．結果

3-1. 出水と糸状緑藻被度の年度変化

2007 年 4 月の糸状緑藻の被度は 24%/m^2 であったが、2008 年には 0%/m^2 と激減した。その後、2009 年には 1%以下、2010 年には 10%まで回復した。2007 年 9 月に台風 9 号が発生し、多摩川は戦後 2 番目の水位まで増水した。この大規模な出水の影響で、翌年の 2008 年 4 月には糸状緑藻が分布していなかったと考えられた。

3-2. 出水規模とその後の付着膜の回復

出水規模に応じた異なる現存量からの回復で一定時間が経過する（設置から 35 日後）と付着量の差は小さくなった。エ）の大規模出水と想定した新しい河原の石については、35 日後になっても糸状緑藻が出現しなかった。

４．考察

大規模な出水のあった翌年の糸状緑藻の現存量は小さく、出水規模は翌年の糸状緑藻の現存量に影響していた。

出水インパクトの操作実験では、河原の新しい石を水中に設置した場合、他の水中の石を取り出して処理して再設置したものに比べて、回復までに顕著に時間がかかる結果となった。

河原の新しい石では細菌膜形成のための時間が必要となる。出水の規模が大きくなるにしたがって、水中の石が河原の石と交換する率が大きくなることが、回復に時間がかかる要因の一つとなることが示唆された。

2B04 由良川河口域における物理構造と一次生産の季節変動

*安佛かおり（京大・森里海連環学ユニット），舟橋達宏（京大・農），
石井健一郎（京大・農），笠井亮秀（京大・フィールド研），
上野正博（京大・フィールド研），山下洋（京大・フィールド研）

１．はじめに

河川と海域の推移帯である河口域は，淡水と海水が混ざりあう複雑できわめて生産性の高い水体である．また，河口域は，魚介類などの水産資源の生産・生息場として重要である一方で，水質汚染や浚渫など人間活動の影響を受けやすい．河口域はさまざまな生態的機能をもつが，その保全には河口域の特性を踏まえた対策が必要である．

河口域における河川水と海水の混合の様相は，潮汐・河川流量・地形などの影響により変化し，生物群集の構造や機能に影響を与えている．本研究の調査地である由良川河口域の河床勾配は緩く，河床高度は海面より低い．また，由良川が注ぐ日本海では潮汐差が小さい．これらの理由により，夏季には海水が河川内に侵入し，典型的な弱混合型の河口域の様相を呈する．由良川では，夏季に海水の侵入によって成層が形成される際に，塩分躍層付近にクロロフィル極大が形成されることが報告されている．しかしながら，その形成機構は詳しくわかっておらず，クロロフィル極大を形成している浮遊藻類群集の基礎生産に関する知見はほとんどない．

そこで本研究では，由良川河口域の基礎生産構造を明らかにするために，浮遊藻類群集の基礎生産の測定を行い，それと同時に，環境因子として，光条件，水温，栄養塩濃度などを測定し，基礎生産力との関係を調べた．

２．材料と方法

調査は，由良川の河口から上流 18 km 地点までの区間で行った．各調査では，河口から 2 km 間隔で水温・塩分濃度・クロロフィル蛍光の鉛直分布を観測し，現場培養を行う地点を決定した．基礎生産の測定は，2012 年 5 月には塩分くさびの先端部（ST1）で，8 月には，塩水くさびの先端部，中間地点（ST2），河口（ST3）の 3 地点で行った．12 月の調査も 8 月と同じ地点で行ったが，最上流地点は淡水のみに占められていた．塩分勾配の大きな地点では，表層・塩分躍層（中層）・底層（底から 0.5 m）の 3 深度で，その他の地点では表層と底層の 2 深度で培養を行った．現場では，各層から試水を採取し，^{13}C でラベルした $NaHCO_3$ を溶存無機炭素の ^{13}C atom %が 10 程度になるように加えた後，4～5 時間現場培養を行い，^{13}C の取り込み量を測定した．

環境因子として，光量子の鉛直分布と水温の経時変化を測定し，培養用に採取した試水の残りで栄養塩を分析した．また，培養地点・深度から数点を選び流速計を設置した．

３．結果

5 月と 8 月には塩分くさびが 18 km 付近まで遡上しており，水深 2 m 付近に塩分躍層がみられた．8 月は，5 月より表層塩分が高く，塩分勾配はより緩やかであった．12 月の調査では，12 km 付近までしか塩分くさびの遡上がみられなかった．

浮遊藻類の現存量は，5 月は調査区間の上流側の地点と窪地の底層で，8 月は塩分躍層と河口の表層で多かった．12 月の現存量は他の月と比べて全体的に少なかった．

基礎生産量は調査日間で大きく変動し，8 月に最大値を示した．5 月は表層で，8 月は中層で高い値を示し，12 月は深度間の差異は明らかではなかった．クロロフィル *a* あたりの基礎生産量（光合成活性）を深度間で比較すると，つねに表層が最大であった．季節ごとの生産量の差は培養深度が浅いほど大きく，表層では 8 月の値は 5 月と 12 月の値より 5 倍程度大きかった．なお，8 月の表層では上流から下流に向けて光合成活性の低下がみられた．

8 月の流軸方向の平均流速は，ST1 と ST2 の表層でそれぞれ 20 cm/s と 6 cm/s であり，底層では −2～1 cm/s であった．

４．考察

藻類の現存量と生産量との関係をみると月毎に特徴がみられた，12 月は現存量と基礎生産量がとも小さかった．5 月の藻類現存量は 8 月の表層と同程度であったが生産量は比較的小さかった．5 月の基礎生産量は浅層ほど高かったが，藻類現存量は底層で高かった．この原因としては，表層では淡水が河口に向けて流出していたことが考えられる．

8 月においては，光合成活性は表層で高く，基礎生産と藻類現存量は中層で高かった．また，表層では河口に向かって藻類現存量が増加していた．流速は表層より中層で低く，表層の流速は河口に向かって低下していた．これらのことは，河口域での藻類の分布が，藻類自身の活性とともに，増殖速度がその場の現存量増加に反映される度合いを決める物理条件により影響を受けることを示唆している．

8 月の藻類現存量と基礎生産量は地点・深度間で大きく変動した．底層では，藻類量は表層と同程度であったが生産量は他と比べて著しく小さかった．また，各地点の表・中層では，現存量と生産量の両方が大きい群集と，現存量は小さいが生産量の大きい群集，すなわち光合成活性の異なる群集がみられ，河口域の物理構造は藻類群集の構造とともに機能にも影響を与えていることが推測された．

2B05 千曲川中流域におけるトビケラ目幼虫の生物生産

ヒゲナガカワトビケラ・ウルマーシマトビケラに注目して

*平林公男（信州大・繊維），瑞慶覧光（信州大院・理工学研究科）

１．はじめに

ヒゲナガカワトビケラやウルマーシマトビケラは、河川の底生動物の中でも、個体数密度や現存量の大きなグループの一つである(河合・谷田 2005)。これらの幼虫は、河川水中の有機物を網で捕獲して、餌として利用し、成長するため、その場に有機物をストックするという重要な役割を果たしている。しかし、これらの幼虫の河川中流域における生活史や生物生産に関する研究報告は極めて少ない(津田 1942、Tanida 2002)。本研究では千曲川中流域で、生息密度で優占するウルマーシマトビケラと、現存量で優占するヒゲナガカワトビケラに注目し、それらの成長解析を行い、年間世代数などの生活史を明らかにし、河床勾配の異なる 3 地点における生物生産量を算出した。

２．材料と方法

調査は 2011 年の 4 月～12 月の間、毎月 1 回、千曲川中流域の常田新橋付近(県境より 105km 上流)、冠着橋付近(県境より 87km 上流)、岩野橋付近（県境より 77km 上流）の 3 地点で行った。また、2012 年には、常田新橋と冠着橋の 2 地点で同様の調査を行った。底生動物の採集にはサーバーネット(NMG 42、30×30cm^2、メッシュ 450μm)を用い、各地点の瀬の部分で 3 サンプルずつ採集し、現地においてエタノール 70%となるように固定した。このとき同時に環境要因として水温、水深、流速、pH、EC、DO を測定した。試料は実験室に持ち帰り、肉眼および実体顕微鏡を用いてトビケラ目、カゲロウ目、カワゲラ目、その他の目に分類し、個体数を測定した。さらにトビケラ目については種レベルまで分類し(河合・谷田 2005)、湿重量、乾燥重量、灼熱減量（AFDW）を個体毎に計測した。ヒゲナガカワトビケラ、ウルマーシマトビケラ幼虫については成長解析を行うために接眼ミクロメーターを用いて頭長(上唇～頭部後方まで)を測定し、齢別判定を行った。なお、2011 年は 1m 以上の洪水が 2 度（5/29 と 9/21）、2012 年は 1 度も無かった(6/20 に 67cm、10/1 に 81cm)。年間生産量(AFDW mg/m^2/yr.)は、生物体増加量＋羽化した成虫の生物体量＋消失量(死亡や捕食された量)で求めた。

３．結果

2011 年のヒゲナガカワトビケラの平均個体数密度(匹/m^2)は、常田新橋、冠着橋、岩野橋の順に 214 匹/m^2、77 匹/m^2、44 匹/m^2 であった。各地点における平均現存量（AFDW mg/m^2）は、5066 mg/m^2、3241 mg/m^2、1042 mg/m^2 であった。これらのデータを元に、年間の生産量（AFDW mg/m^2/yr.）を算出すると、常田は 34595 mg/m^2/yr.、24280 mg/m^2/yr.、6699 mg/m^2/yr.となった。岩野を 1 とすると、冠着は 4 倍、常田は 5.1 倍となる。一方、2012 年の平均個体数密度(匹/m^2)は、常田新橋、冠着橋の順に 548 匹/m^2、263 匹/m^2 であった。各地点における平均現存量（AFDW mg/m^2）は、7151 mg/m^2、3789 mg/m^2 であり、年間生物生産量（AFDW mg/m^2/yr.）は、常田で 37683 mg/m^2/yr.、冠着で 26317 mg/m^2/yr.となった。以上のことより、年間生物生産量は、常田ではおよそ 35000 AFDW mg/m^2/yr.、冠着ではおよそ 25000 AFDW mg/m^2/yr.、岩野では 6700 AFDW mg/m^2/yr.となった。P/B 値で比較すると、両年とも冠着＞常田であり、岩野は常田よりも低い値を示していた。ウルマーシマトビケラの場合、2012 年の平均個体数密度(匹/m^2)は、常田新橋、冠着橋の順に 1431 匹/m^2(ヒゲナガカワトビケラの 2.6 倍)、1129 匹/m^2（4.3 倍）であり、各地点における平均現存量（AFDW mg/m^2）は、529 mg/m^2(ヒゲナガカワトビケラの 1/13)、709 mg/m^2（1/5）であった。年間の生産量は、常田では 1348 mg/m^2/yr.(ヒゲナガの 1/28)、冠着では 1727 mg/m^2/yr.（1/15）となった。ヒゲナガカワトビケラとは逆に冠着の方が常田よりも生産性は高かくなった。

４．考察

他の水域と比較すると、ヒゲナガカワトビケラの場合、奈良吉野川水が瀬で記録のある年間生産量 48616 mg/m^2/yr.(平均個体数密度 475.2 匹/m^2、平均現存量 2228AFDW mg/m^2)には及ばないが、奈良吉野川賀名生の 15416 mg/m^2/yr.、山形馬見ヶ崎川の 13923 mg/m^2/yr.等と比較しても、かなり高い値であることが示唆される。ウルマーシマトビケラの場合は、同属の *Hydropsyche spam* と *H. macleodi* が北米アパラチアで測定された結果として、年間生産量が前者で 86.3 mg/m^2/yr.(平均個体数密度 46 匹/m^2、平均現存量 20.3 AFDW mg/m^2)、後者で 26.7 mg/m^2/yr.(平均個体数密度 7.2 匹/m^2、平均現存量 4.9 AFDW mg/m^2)という報告がある。これらの値と比較しても、極めて高い値である(Tanyda 2002)。

同じトビケラ目の中でも、種により、生産量の高い場所に違いが認められた。しかし、現存量の大きなヒゲナガカワトビケラの生産量は、常田、冠着、岩野の順に大きかったが、P/B 値は冠着、常田、岩野の順となっていた。ウルマーシマトビケラの生産量は冠着、常田の順であったが、P/B 値はほぼ同じ値を示していた。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、信州大学繊維学部武田昌昭技術専門職員、学部生の中山美咲、渡邊直彦、山嵜健人、永井義成、ならびに河川生態学術研究会千曲川研究グループの皆様に大変お世話になった。この場をおかりしてお礼を申し上げる。

2B06 河川生態系における地質・水質と底生動物相との関係

*西田昭夫（京都共栄学園中・高），井伊博行（和歌山大学システム工学部）

１．はじめに

河川生態系における底生動物群集は、河床を形成する礫などの物理的特性（小林ほか.2011；西村ほか.2001）や水質などさまざまな環境条件に影響されることが報告されている（玉井・奥田・中村編.,2000）。特に水質汚濁や富栄養化など水に関わる環境条件は、古くから研究されてきた。しかしながら、地質条件と底生動物相の関係について研究された報告例はほとんどないので、Mg、Ni に富む蛇紋岩、Ca に富む石灰岩、金属硫化物に富む鉱山地域で、水質、水生生物との関係を調べた。

２．材料と方法

（１）調査地点

兵庫県北部に位置する生野銀山周辺７地点、同じく兵庫県養父市と京都府北部に広がる蛇紋岩帯５地点、石灰岩帯である広島県帝釈峡周辺２地点、それに対照河川として兵庫県北部を流れる矢田川の支流3地点の合計１７地点を選び調査を実施した。

調査は 2010 年 4 月から 2012 年 10 月まで年２回（春・秋）水質調査を行った。底生動物は、2012 年春と秋に調査を行った。

（２）方法

①水質：水温、ｐH、電気伝導度（EC）は、現場で測定するとともに、ポリエチレン（容量：100ml）容器２本に分けて採水後実験室に持ち帰った。2 本の容器の内、1 本には濃硝酸（金属分析用）5ml を添加し ICP 分析に供した。残り 1 本はイオンクロマトグラフィー分析に供した。

②底生動物：

25cm×25cm の枠付き採集ネット（口径 225μm）を用い、４枠から８枠を採集後、実験室でソーティングを行った。70%エチルアルコールで固定した底生動物は、種あるいは属まで同定した。しかし、種・属まで同定困難な標本もあり、その場合は科までの同定とした。

３．結果

生野銀山排水口周辺は、採集できる生物種がコカゲロウ属（*Baetis* spp.）、ヘビトンボ（*Protohermes grandis*）、ユスリカ科（*Chronomidae* spp）に限られた。ここでの水質は、亜鉛（Zn）と鉛（Pb）の濃度が高く、亜鉛で 1.58 から 1.74(mg/l)、鉛で 0.023 から 0.024(mg/l)であった。石灰岩帯では、チラカゲロウ（*Isonychia japonica*）やキタガミトビケラ（*Limnocentropus insolitus*）の個体数が多かった。また、目視で淵に貝類（種同定中）の生息群集を認めた。水質は、カルシウム濃度が 18.11 から 31.21(mg/l)と対照河川（0.85 から 1.41(mg/l)）の 20 倍から 30 倍の高濃度であった。蛇紋岩帯の水質は、マグネシウム（Mg）とニッケル（Ni）が高濃度で、前者は、16.6 から 21.8(mg/l)、後者は 0.015 から 0.080(mg/l)であった。底生動物では、ヒゲナガカワトビケラ（*Stenopsyche* marmorata）とウルマーシマトビケラ（*Hydropsyche orientalis*）の個体数が多かった。また、採集全個体数は、220 から 300 個体、生物種数は 10 から 15 種と対照河川とほぼ同じであった。

採集した底生動物の種数と個体数から Simpson の多様度指数を求めたところ、生野銀山排水口の上下地点で最も低く、1.07 から 1.23 であった。最も高かった地点は、石灰岩地帯で 10.1 を示す地点もあった。蛇紋岩帯の多様度指数は、4.70 から 9.13 で対照河川のそれとほぼ同じであった。

４．考察

生野銀山排水口上下地点で、採集生物種が３種と他の地点に比較して極端に少ない要因は、水中に溶存する亜鉛や鉛の重金属イオンの影響が強いと考えられる。コカゲロウ属（*Baetis* spp.）には、これら重金属に対する耐性種が存在することも報告されており大半がこの耐性種であると考えられる.

石灰岩地帯において、キタガミトビケラ（*Limnocentropus insolitus*）や淡水性貝類が群集を構成して生息していることから、特異的な生態系であることが考えられる。この生態系を支えている要因の一つは、石灰岩から水中に供給される高濃度のカルシウム（Ca）にあると推察できる。特にキタガミトビケラ（*Limnocentropus insolitus*）は、日本に現在一種しか確認されておらず、それが群集を構成して生息している報告例はなく、この報告が最初である。蛇紋岩帯における底生動物相は、対照河川と比較して造網性トビケラが多く、また多様度指数もほぼ同じであることより、マグネシウム（Mg）やニッケル（Ni）など水質的な要因より、底質など物理的な要因が影響していることが考えられる。しかし、陸上では蛇紋岩帯でしか見られない植物が存在することより、底生動物においても同様であろうと推察する。

引用文献

小林他（2011）陸水学雑誌. 72：1-18.
玉井・奥田・中村編（2000）東京大学出版会. 187-190.
西村他（2001）ホシザキグリーン財団研究報告. 5：161－206.

2B07　日本における河川底生動物によるモニタリングの現状と展望

*谷田一三（大府大・理学系研究科），大高明史（弘前大・教育学部），
東城幸治（信州大・理学部），野崎隆夫（神奈川県二宮町），
平林公男（信州大・繊維学部）

河川底生動物を使ったバイオモニタリングでもっとも早く日本に導入されたのは,ベック-津田法だった。この米国起源の手法を導入した津田松苗は,「水生昆虫学」（津田,1962）・「汚水生物学」（津田,1964）と,川虫を中心にしたバイオモニタリングに関する分類と応用の両輪にあたる図書を刊行した。その後,この手法は津田の奈良学派を中心に,日本では広く普及した。ベック-津田法は,底生動物（肉眼的無脊椎動物）を,（有機）汚濁に対する耐性種と非耐性種に二分し,前者の種数と後者の種数を二倍した数の合計値を,スコア値とする。簡便ではあるが,問題点も少なくない。その後,欧州大陸を発祥とする,パンテル-バック,ゼリンカ-マルバンの指数や階級判定法が導入されたが,分解能も高く,科学的蓋然性も高いにも関わらず,ベック-津田法ほどは普及しなかった。

森下郁子（1977）が著した「川の健康診断」は,河川のバイオモニタリングという考え方を,一般に広めた名著であること疑いのないところだろう。環境庁（当時）や建設省（当時）が主導した,「水生生物による簡易水質調査」は,現在も十万人を超える市民の参加する生物学的な水質調査であるが,「健康診断」の延長線にあるといってもいいだろう。腐水階級にほぼ対応する 4 階級の水質判定を,それぞれの階級を代表する河川底生動物の出現の有無などを使って判定する。階級判定のレベルに限ればそれなりの精度はあり,採用されている動物も限られており,市民にとっても簡便である。バイオモニタリングの入口としては,日本が世界に誇るべきものだろう。

この簡易水質判定についても,発表者たちが参画した検討会（後述）で,内容の見直しを平成 22 年度に行った。その詳細については,環境省の HP や拙著（谷田編,2012）を参照されたい。

この簡易法よりは,さらに詳しい分析ができる手法として,私どもが検討会で論議したのが,日本版平均スコア法(ASPT: Average score per taxon)を中心とする手法である。この方法のもとになったのは,英国に起源をもつ BMWP 法である。科レベルまでの分類を基本として,各分類群に 1―10 のスコアを与える。BMWP スコア（合計スコア）は出現した分類群のスコアの合計値。平均スコアは,その合計値を出現した分類群数で除したものである。英国だけでなく,オーストラリア,米国の一部,アジア諸国などでも,広く使われている。

日本でも,「水生生物による簡易水質調査」より詳細なバイオモニタリングの手法として,平成 10 年前後に環境省と自治体環境研究所メンバーなどによって検討と試用がなされたが,諸般の事情によって普及には至らなかった。

平成 21 年度から始まった環境省の委員会「水生生物等による水域特性評価手法検討委員会」では,簡易水質調査法の見直しとともに,日本版平均スコア法の再検討を行ってきた。

このなかで,科レベル分類群などのスコアの見直しは平成 23 年度に行い,表のような暫定版を公表した（野崎,2012）。また,汚濁の少ない地点の河川水辺の国勢調査のデータを検討して,いわゆる参照値（reference values）の検討も行った。

平成 24 年度には,生物の専門家でない研究者,学生,市民にも使えることを目標とした「河川ベントスの絵解き検索」の原案を作成した。当日は,これらの内容も紹介する。

また,委員会で検討してきた生物指標,生物指数以外にも,EPT 指数,BMWP 指数などの,国外で広く採用されている指数などの適合性についても,検討・紹介する。

表 1　改訂スコア表（野崎,2012 より転載）
委員会において,認定済み
○：スコアを新設，△：スコアを上昇，▽：スコアを下降.

分類群名	スコア
カゲロウ目 Ephemeroptera	
▽ フタオカゲロウ科 Siphlonuridae	8
○ ガガンボカゲロウ科 Dipteromimidae	10
○ ヒメフタオカゲロウ科 Ameletidae	8
▽ チラカゲロウ科 Isonychidae	8
ヒラタカゲロウ科 Heptageniidae	9
コカゲロウ科 Baetidae	6
トビイロカゲロウ科 Leptophlebiidae	9
▽ マダラカゲロウ科 Ephemerellidae	8
ヒメシロカゲロウ科 Caenidae	7
カワカゲロウ科 Potamanthidae	8
▽ モンカゲロウ科 Ephemeridae	8
シロイロカゲロウ科 Polymitarcyidae	8
トンボ目 Odonata	
▽ カワトンボ科 Calopterygidae	6
ムカシトンボ科 Epiophlebiidae	9
サナエトンボ科 Gomphidae	7
オニヤンマ科 Cordulegastridae	3
カワゲラ目 Plecoptera	
オナシカワゲラ科 Nemouridae	6
アミメカワゲラ科 Perlodidae	9
カワゲラ科 Perlidae	9
ミドリカワゲラ科 Chloroperlidae	9
カメムシ目 Hemiptera	
ナベブタムシ科 Aphelocheiridae	7
ヘビトンボ目 Megaloptera	
ヘビトンボ科 Corydalidae	9
トビケラ目 Trichoptera	
ヒゲナガカワトビケラ科 Stenopsychidae	9
カワトビケラ科 Philopotamidae	9
クダトビケラ科 Psychomyiidae	8
△ イワトビケラ科 Polycentropodidae	9
シマトビケラ科 Hydropsychidae	7
ナガレトビケラ科 Rhyacophilidae	9
○ カワリナガレトビケラ科 Hydrobiosidae	9
ヤマトビケラ科 Glossosomatidae	9
ヒメトビケラ科 Hydroptilidae	4
カクスイトビケラ科 Brachycentridae	10
▽ エグリトビケラ科 Limnephilidae	8
○ コエグリトビケラ科 Apataniidae	9
○ クロツツトビケラ科 Uenoidae	10
○ ニンギョウトビケラ科 Goeridae	7
カクツツトビケラ科 Lepidostomatidae	9
ケトビケラ科 Sericostomatidae	9
▽ ヒゲナガトビケラ科 Leptoceridae	8

分類群名	スコア
チョウ目 Lepidoptera	
ツトガ科 Crambidae	7
コウチュウ目 Coleoptera	
ゲンゴロウ科 Dytiscidae	5
ミズスマシ科 Gyrinidae	8
ガムシ科 Hydrophilidae	4
ヒラタドロムシ科 Psephenidae	8
ドロムシ科 Dryopidae	8
ヒメドロムシ科 Elmidae	8
ホタル科 Lampyridae	6
ハエ目 Diptera	
ガガンボ科 Tipulidae	8
アミカ科 Blephariceridae	10
チョウバエ科 Psychodidae	1
ブユ科 Simuliidae	7
△ ユスリカ科（ユスリカ族：腹鰓有）Chironomidae	2
△ ユスリカ科（その他：腹鰓無）Chironomidae	6
ヌカカ科 Ceratopogonidae	7
▽ アブ科 Tabanidae	6
ナガレアブ科 Athericidae	8
ウズムシ目 Tricladida	
サンカクアタマウズムシ科 Dugesiidae	7
ニナ目 Mesogastropoda	
カワニナ科 Pleuroceridae	8
モノアラガイ目 Basommatophora	
モノアラガイ科 Lymnaeidae	3
サカマキガイ科 Physidae	1
ヒラマキガイ科 Planorbidae	2
カワコザラガイ科 Ancylidae	2
ハマグリ目 Veneroida	
△ シジミガイ科 Corbiculidae	3
ミミズ綱 Oligochaeta	
○ ミミズ綱（エラミミズ）Oligochaeta	1
○ ミミズ綱（その他）Oligochaeta	4
ヒル綱 Hirudinea	2
ヨコエビ目 Amphipoda	
▽ ヨコエビ科 Gammaridae	8
○ キタヨコエビ科 Anisogammaridae	8
○ アゴナガヨコエビ科 Pontogeneiidae	8
ワラジムシ目 Isopoda	
ミズムシ科 Asellidae	2
エビ目 Decapoda	
サワガニ科 Potamidae	8

2B08　琵琶湖流入河川における魚類の分布と環境条件の関係解析

＊大久保卓也[1]・石崎大介[2]・亀甲武志[2]・井上栄壮[1]・永田貴丸[1]・水野敏明[1]
（1：滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、2：滋賀県水産試験場）

１．はじめに

琵琶湖における貝類を含めた漁獲量は、1970 年前後には 6000～8000 トン／年であったものが、2010 年前後には1600～1800トン／年となり激減している。魚類では、アユ、ビワマス、コイ、フナ属、ホンモロコ、イサザ、ウグイ、オイカワなどほとんどの魚種で減少傾向にある。この原因としては、湖岸の人工護岸化、河川改修、堰堤や取水堰による魚類の移動の分断、水位の人為的管理、ブラックバス等の外来魚の侵入の影響などが指摘されている。我々は、魚類生息環境の改善方法を検討するための基礎研究として、琵琶湖流入河川において魚類と底生動物の調査を行い、種別の個体数・現存量と堰堤の設置状況や河畔林等の環境条件、河川水質、流速、水深等の河川環境との関連性について検討を進めている。今回は､2012 年秋に実施した滋賀県内 17 河川での調査結果から魚類個体数と環境条件の関係について解析した結果を報告する。

２．方法

2012 年 10 月に琵琶湖に流入する 17 河川(真野川、和邇川、鵜川、安曇川、石田川、百瀬川、知内川、大浦川、塩津大川、姉川、犬上川、宇曽川、愛知川、白鳥川、日野川、家棟川、野洲川）の河口から第一番目の瀬 (St.1)、第一番目の堰堤の下流部 (St.2)、同堰堤の上流部 (St.3) において魚類調査を行った。また、各調査地点において、水温、水質、流速、水深、底質、河畔林の有無等の環境条件を同時に測定した。魚類の採取は、エレクトリックショッカー（SMITH-ROOT 社製）を用いて行った。統計計算は Windows 版 SPSS Ver.15 を用いた。

３．結果

エレクトリックショッカーで捕獲した魚の単位面積当たりの魚種別個体数（尾/m^2）と水質等の環境因子の相関をケンダールの順位相関係数で求め、5%の有意水準で有意な相関がみられた因子を表１に示した。トウヨシノボリ、ウキゴリ、ヌマチチブ、ヌマムツ、ドンコ、ナマズ、コイの個体数は、栄養塩濃度と正の相関を示しており、農地や家庭から栄養塩の供給がある調査地点で多い傾向がみられた。一方、ビワマス、ウグイの個体数は、EC や栄養塩濃度が低いところで多い傾向がみられ、清澄な河川を好む傾向がみられた。ウキゴリ、ウツセミカジカ、ヌマチチブの個体数は、堰堤の上流部では下流部に比べ少ない傾向がみられ、堰堤によって移動が阻害されている可能性が示唆された。今回の調査時のアユの遡上数は、例年に比べ極端に少なかったこともあり、堰堤のアユへの影響は明確にみられなかった（2011 年秋の調査では堰堤による遡上阻害効果がみられた。）カマツカは、河床粒径とマイナスの相関を示し、砂地に多いことを反映していた。また、ヤリタナゴも河床粒径とマイナスの相関を示し、砂～泥地に多いことを反映していた。水際植物、抽水植物が多いと個体数が多い傾向がみられる魚種が多くあり、河道、川辺の植生の重要性を示していた。

表１　2012 年 10 月調査における魚種別個体数と河川環境因子の相関
（ケンダールの順位相関係数が 5%有意水準で有意となったもの。n=50）

魚種	＋影響因子	－影響因子
トウヨシノボリ	水際植物、抽水植物、DOC、D-P、D-N、ケイ酸、クロロフィルa＋フェオ色素	川幅
ウキゴリ	抽水植物、石の埋没度、SS、DOC、D-P、D-N、ケイ酸、クロロフィルa＋フェオ色素	堰堤の存在
ウツセミカジカ	水際植物、抽水植物	堰堤の存在、川幅、EC
ヌマチチブ	石の埋没度、SS、DOC、D-P、ケイ酸	堰堤の存在
アユ	石の埋没度、SS、DOC、ケイ酸	沈水植物
ビワマス	-	EC、クロロフィルa＋フェオ色素
ウグイ	-	SS、DOC、D-P
オイカワ	抽水植物、石の埋没度、EC、クロロフィルa＋フェオ色素	河畔林のカバー
ヌマムツ	抽水植物、EC、D-P、クロロフィルa＋フェオ色素	川幅
カワムツ	-	クロロフィルa＋フェオ色素
カマツカ	EC、DOC	河床粒径
アブラハヤ	川幅	沈水植物、DOC
オオクチバス	水温、石の埋没度、EC、クロロフィルa＋フェオ色素	-
ドンコ	水際植物、抽水植物、D-P、D-N、ケイ酸	-
ナマズ	水温、沈水植物、D-P、D-N、ケイ酸	-
カネヒラ	水際植物、抽水植物、沈水植物	川幅
アブラボテ	水際植物、抽水植物	-
ヤリタナゴ	石の埋没度、DOC	流速、河床粒径
フナ属	水温、抽水植物、石の埋没度、EC	-
コイ	EC、D-P、D-N	-
タモロコ	EC、クロロフィルa＋フェオ色素	-
ニゴイ	水温、EC	-

（注）DOC: dissolved organic carbon, D-P: dissolved phosphorus, D-N: dissolved nitrogen, SS: suspended solids, EC: electric conductivity。

2B09 環境 DNA を用いた在来および外来オオサンショウウオの検出

福本 想（神戸大・発達／京都大・院地球環境），
丑丸 敦史（神戸大・院発達），*源 利文（神戸大・院発達／地球研）

１．はじめに

生物多様性の保全において対象種の生息域を正確に把握することは非常に重要である。特に、希少種の保全や侵入初期段階の外来種の対策を効果的に行うためには、個体が低密度で分布していても生息域を把握する必要がある。しかし、水域において個体密度が低い希少種や侵入初期の外来種の分布域を正確に把握することは困難である。

近年、水域における生物の分布調査の新しい手法として水中の環境 DNA を用いた調査法が開発されている。水中の環境 DNA とは水中に存在している DNA の総称であり、皮膚片や排出物、粘液などに由来する DNA と考えられている。環境中の DNA から対象種に特異的な配列を検出することにより、対象種の在・不在をモニターすることができる。

本研究ではオオサンショウウオ属の 2 種を対象とした。オオサンショウウオ（*Andrias japonicus*：以下、在来種とする）は、西日本に分布する日本の固有種であり、日本の特別天然記念物とされている。分布域の東端に近い京都府の桂川水系では、1970 年代に食用として輸入されたチュウゴクオオサンショウウオ（*A. davidianus*：以下、外来種とする）が野生化し、在来種と交雑していることが確認されている。京都市の調査によると、鴨川水系（賀茂川、高野川含む）における在来種と外来種の交雑は年々進行しており、今後侵入域のさらなる拡大も懸念される。オオサンショウウオは夜行性で昼間は姿を見ることが難しく、生息域の調査には多大な時間と労力がかかる。そこで、本研究では、在来種および外来種それぞれに対する特異的プライマー・プローブセットを開発し、一つの水サンプルから環境 DNA を用いて両者の在／不在をモニタリングする手法を開発し、桂川水系における両種の分布域推定を試みた。

2. 材料と方法

2-1. プライマー・プローブセットの特異性の確認

両種のミトコンドリア NADH1 遺伝子の一部を増幅する種特異的プライマーおよび Taqman プローブを作成した。作成したプライマー・プローブセットの特異性を確認するため、京都水族館で個別飼育されている在来種と外来種の脱皮殻から抽出した DNA を用いて増幅実験を行った。Taqman プローブを用いたリアルタイム PCR 法により、在来種および外来種の DNA がそれぞれのプライマー・プローブセットによって正しく検出されるかどうかの検討を行った。

2-2. 環境水サンプルからの検出実験

2012 年 9 月、12 月および 2013 年 3 月に、桂川水系の 37 地点において 4 リットルの河川水を採水した。河川水をグラスフィルターを用いてろ過し、フィルター上にトラップされた環境 DNA を抽出した。前述のリアルタイム PCR 系を用いて対象種の DNA を増幅し、サンプル中に在来種および外来種の DNA が存在するかどうかを決定した。

3. 結果

3-1. 検出系の特異性

脱皮殻由来の DNA を用いた特異性確認実験の結果、本研究で開発した検出系を用いることで、オオサンショウウオとチュウゴクオオサンショウウオの DNA をそれぞれ特異的に検出することが可能であることが確認された。

3-2. 桂川水系における DNA 検出

□在来種の DNA は、桂川水系 37 地点中 25 地点において、３回の調査のうち少なくとも 1 回検出された。外来種の DNA は 8 地点において検出された。これまで個体の捕獲調査で外来種の侵入が確認されている、鴨川、賀茂川、高野川、花瀬地区の上桂川において外来種の DNA が検出されたほか、捕獲調査の行われていない、京北町地区の上桂川からも外来種の DNA が検出された。

４．考察

本研究では、河川水中から希少種である在来種由来の DNA と侵入初期段階の近縁外来種由来の DNA の同時検出に成功した。桂川水系での検出地点は上流域に集中しており、オオサンショウウオの分布生態と一致する。また、川幅の広い中流域の河川水からも DNA が検出され、検出感度が高いことが示唆された。京都市による在来種と外来種の分布調査が行われたエリアと照らし合わせると、在来種のみが発見された清滝川からは在来種の DNA のみが検出された。一方、外来種や交雑種が発見された鴨川水系、上桂川上流域（花瀬地区）では、外来種 mtDNA が検出され、本研究の結果は捕獲調査の結果とよく一致した。また、捕獲調査報告のない京北町地区の上桂川においても外来種の DNA が検出され、本手法によるスクリーニングが有用であることが示唆された。本研究で用いた手法は母系遺伝のミトコンドリア DNA をターゲットとしているため、交雑種の判別はできない。しかし、少なくとも外来種由来のミトコンドリアを持った個体が、その調査地付近にすでに侵入しているかどうかの判定には十分用いることが可能である。環境 DNA を用いた調査法のさらなる発展と、従来法との組み合わせによって、より効果的な希少種保全策や外来種対策が可能になると期待される。

2B10

Efficiency analysis of two different type fish passages installed at Sejong and Gongju weir in Geum River, Korea

＊Dong-Sup KIM (Kwater, Korea），
Min-Ho JANG（Kongju National University, Korea）
Ju-Duk Yoon（Kongju National University, Korea）

1. Introduction

Nowadays, for the effective use of water resources many artificial structures like dams and weirs have been constructed in streams and rivers. The problem is these kinds of structures normally lead a fragmentation, thus, reduce longitudinal connectivity of streams and rivers. To overcome blockage of migration and movement of aquatic organisms by obstacles, fish passage is commonly installed. However, limited studies were conducted about efficiency, even though fish passage is essentially required for fish migration. In this study, to estimate efficiency of fish passages, we monitored Ice-harbor and nature-like type fish passages installed in Gongju and Sejong weir in Geum River, respectively using PIT telemetry and traps.

2. Materials and Methods

We used PIT (passive integrated transponder) telemetry and fish trap for monitoring fish passage effectiveness. PIT tag was applied every fish living the lower part of Gongju and Sejong weir, and fish attraction rate, passing rate and passing time were estimated. Fundamental operation is when tagged fish passing through antenna, tag signal detected and then tagging information transfer to data logger. Fish trap (1x1x1 m) was setting up at the end part of fish passage and monitored 4 times during 24 hour periods (sunrise: 04-08, daytime: 08-16, sunset: 16-20, nighttime: 20-04). A total number of individuals and species that collected by traps were recorded by each sampling occasions.

3. Results

Ice-harbor type in Gongju weir

PIT tag was inserted to 1512 individuals and 232 individuals were detected (15% of detection rate). Total 83 individuals among 232 detected individuals in fish passage were successfully passed and showed 35.8% of passing rate. Most time spending of fish that moved to exit of fishway was within 6 hours, and some of them moved within 1 hour. A total of 1603 individuals classified into 21 species in 4 families were collected by fish traps. *Squalidus chankaensis tsuchigae* was dominant and *Hemibarbus labeo*, *Pseudogobio esocinus*, *Zacco platypus, Opsariichthys uncirostris amurensis* and *Erythroculter erythropterus* were mainly collected by trap.

Nature-like type in Sejong weir

A total of 841 individuals were used for monitoring and 67 individuals were detected (8% of detection rate). Total 14 individuals among 67 detected species in fishway were successfully passed and showed 20.9% of passing rate. Passing time was relatively longer (47 to 287 hours) than Ice-harbor type fish passage. A total of 1,266 individuals classified into 29 species in 6 families were collected by fish trap *S. c. tsuchigae* and *Z. platypus* were dominant (RA, 23.4%) and fishes in Cyprinidae showed high proportion of occurrence.

4. Discussion

Two fish passage types represented different results. The Ice-harbor type was appropriate for fish pass, while nature-like type could be used as habitat. Because many individuals detected in nature-like type fish passage in Sejong weir spent long time to pass, this fish passage has probability that could be used as a habitat for some species. As revealed by fish trap results, there was no difficulty for using fishway of small size individuals. Although further long-term monitoring is required to estimate efficiency more precisely, because this fish passages were recently constructed, at least until now these fish passages well conduct its role of fish pass.

2B11　大規模河川事業以後の河川水質保全計画及び施行方案

＊ Seungyoon Lee (K-water, Korea)

１．韓国の水環境政策推進方向

現在 4 大河川事業は水確保及び洪水予防，水と調和空間，水質，水生態系復元を中心に進行されて来た．4 大河川事業以後，環境府では ‘安全で豊かになった水をいかにきれいに管理しようか?’に 重点を置きながら推進する計画である．
まず，水質管理重点方向に家畜糞尿管理を強化する計画であり，非点汚染源管理方案で特に，土地利用別非点汚染源低減を強化する．また，現在進行されている水生態系復元を重点的に管理する方案である．

２．4 大江水質管理

4大河川水質の BODは 90年対比，2010年 4.2 → 2.1 mg/Lで，著しく減少された．しかし，停滞水域での CODは増加している傾向である．このように河川環境変化は 4大河川堰設置，浚渫によって急激な変化をもたらし，特に渇水期に堰設置による滞留時間増加によって富栄養化すなわち，水質悪化をもたらす可能性がある．先に，4大河川水質改善方案に下水排水路装備，窒素，リン規制基準強化，下水道施設改善，家畜糞尿管理強化を行う必要がある．

特に，堰中心の統合流域管理示範事業，有機性廃棄物総合資源化センターを推進する方案を提示する．これによって，非点汚染源管理を強化しならなければならない．

３．4 大江事業と生態系

4 大河川事業が河川に集中されただけ河川生態系に多く影響を及ぼす．生態系内での魚類は高い栄養段階を占めて，環境変数と生息特性によって多くの影響を受ける．また撹乱及び汚染に対する指標生物として河川生態系食物連鎖と魚類は非常に重要な役目として作用する．
4 大河川事業による淡水魚類の群集及び移動の変化を調べるために環境府では 2010 年から現在まで持続的なモニタリングを実施している．しかし，堰の建設が魚類に直接的に及ぶ影響を調べるには限界があるため，次のような研究方案を提示した．
まず，魚類の生息先環境変化による移動パターン分析研究で流水域に棲息する魚種を停水域に移した時の移動パターンをモニタリングする方法である．また，魚道効率性評価として下部に位したトラップに集漁された魚を人為的にダム上部に移してくれる方式を提案する方案である．

４．河川の水環境イッシュー変化と対応戦略

気候変化時代で極限気象の頻度が大きくなることを勘案して，異例的な水質変化に対する先制的対処が必要である．台風による流域から濁水，病源菌，栄養物質流出だけではなく極端の気象條件まで考慮した水質監視体系が必要である． また既存に新設されたダム，農業用貯水池による維持水量は環境改善用水路へ専用しなければならない，流域単位水循環体系改善による自給型水資源確保及び水環境観里体系構築のために小水力発展ダム建設拡大、農業用貯水池再開発によるエネルギー，用水自給，災害防止，非点汚染源低減，河川維持用水獲補体系構築が必要である． また現在強化された下水処理施設放流水の総リン基準を段階的に強化して河川本流の水質をもっと改善しなければならない，原水での水質改善だけでなく静水処理施設の補強する方案を提示する．

5.　水環境復元のための水質管理政策方向

4 大河川堰区間の効率的水質管理のためには堰中心流域統合水質管理のための下水処理場放流水排出基準設定と個人下水道管理強化が必要である． 現在下水未処理区域の個人汚水処理施設と浄化槽の排出部下量は公共下水排出部下量の BOD 2.5 倍，TP 0.3 倍の程度に放流水系の水質に及ぶ影響が非常に高いことから，関連制度強化及び公共管理体系導入などを通じた個人下水排出部下量低減は水質改善に寄与するところが大きいと予想される．また，下水処理水再利用は水循環健全性，河川水質改善の効果だけではなく，河川維持流量に相応しい下水処理を通じて点汚染源排出部下量の低減効果を期待することができる．
したがって，水再利用活性化のための政府の積極的なサポート政策とともに環境保全のための効率的な規制を通じて水循環健全性，河川水質改善効果といっしょに水再利用サービスの新しい価値創出及び持続可能な水産業の成長動力としで発展させることが必要である．

3B01　小学校ビオトープを用いた教員養成課程における環境教育の立案と実践

野崎健太郎（椙山女学園大学教育学部）

1. 背景と目的

陸水は，人間社会に身近な場であると同時に，上下水道を通じて日常生活とも密接に結びついている。陸水が持つこれらの特性は，保育所，幼稚園および小学校の自然体験，理科，社会科の体験的な学習（アクテイヴ・ラーニング Active learning）の場として有用である。

実際に，小学校の生活科には，2 年生で水生生物を採集し飼育する単元があり，理科には，3，4 年生で野外の生き物採集，5 年生でプランクトン，川による地形の形成，6 年生で生態系，水溶液の性質を扱う単元があり，いずれも陸水学によって蓄積されてきた知識が教材開発や授業運営に活用できる。つまり，陸水学は，教育学の中の授業研究分野に貢献できる可能性がある。

陸水学の成果を学校現場に活かしていくためには，専門家（研究者）の派遣による出張講義（出前授業）と教師への研修が挙げられる。この内，出張講義は，専門家への安易な丸投げになる可能性が高く，学校の授業文化に陸水学が根付くとは考えにくい。やはり教師への研修が，専門家からの支援の中心となるべきと思われる。そして，それと同時に，教員を目指す学生が学ぶ養成課程において，陸水学を活用した体験型の授業実践が行われるべきであろう（野崎，2012，日本生態学会誌 62：51-58）。

そこで，小学校に設置された水域型のビオトープを用いて，水質調査と生物採集を組み込んだ授業を立案し実践した。その結果から，教員養成課程における陸水学を活用した授業運営の可能性を検討した。

2. 方法

ビオトープは，椙山女学園大学附属小学校（名古屋市千種区覚王山）に設置された小川～池型のものを用いた（図 1）。

図 1. 椙山女学園大学附属小学校ビオトープ

附属小学校はかつて丘陵地の谷戸であった場所の源頭部に建設され，現在でも湧水が見られ，ビオトープは，その湧水によって涵養されている（野崎・宇土，2011，椙山人間学研究 7：148-155）。

授業実践は，椙山女学園大学教育学部にて発表者が担当している教養科目「環境の科学」で行った。全 15 回の授業の内，1 回をこの実践に用いた。時期はいずれも 4 月後半で授業の回数としては第 3 回目となる。受講学生は，2011 年 46 名，2012 年 54 名，2013 年 43 名であった。受講学生は 3～4 人単位で 12 班に分け，グループ活動をさせた。

事前学習として，水温計，パックテストの講習を前時に行った。加えて，受講生各自に学校ビオトープとその活用事例について調べさせた。2013 年からは，野崎・宇土（2011）を，基本文献とした。当日は，校長による講話，12 地点での水温とパックテスト（共立理化）の pH，COD の測定，および手網による水生生物の採集を行った。事後学習としてビオトープの活用法について提案書を書かせた。

3. 結果と考察

表 1 に受講学生から提案されたビオトープの活用方法についてまとめた。生き物に関するものが 56%を占めた。この結果から受講学生は，生き物に強い関心を持つことがわかった。今回は，水質調査を最初に，採集をその後に行ったが，今後は，まず採集を行い，その後、生物相を維持している水環境の特徴について、学生と対話しながら探索させるという授業運営を実践する予定である。

表 1. 2011 年の受講学生 44 名によるビオトープの活用法の提案（野崎・宇土，2011）

分類	人数（人）	具体的な内容	教科
生き物	30	生き物に触れる場	理科・総合
		季節的・長期的に生き物を観察する場	理科・総合
		教室で飼育する生き物（ヤゴ・メダカ等）を採集する場	理科・総合
		生き物図鑑の作成	理科・総合
		種類を増やすために放流する	理科・総合
		地域に生息していた（在来種）生き物を放流する	理科・総合
場の整備	9	異なる学年間で議論した発想でビオトープを改造する	総合
		地域の自然再生の中核の場にする	総合
		ビオトープの周囲に水田をつくり稲作の歴史・文化を学ぶ	社会科
		椅子・机を置いて集まりやすい場にする	総合
		生き物紹介・クイズを記載したパネルを設置する	総合
		生き物が住みやすく採集しやすい場にする	総合
食	6	食文化（七草等）と関連づけて野草（セリ等）を食べる	生活科・家庭科
水質	5	近隣の河川と比較する	理科・総合
		毎日測定し季節変化を調べる	理科・総合
		水質と生き物の関係を調べる	理科・総合
その他	4	ビオトープの周囲で水辺に関係する歌を歌う	音楽
		写生の場	図画工作
		工作の材料を得る場	生活科
		四季ごとにビオトープマップを作成する	生活科
		ビオトープ係・委員会を発足させる	特別活動

3B02

琵琶湖調査隊報告：琵琶湖および流入河川の感覚調査

*津田久美子（草津市役所環境課），荒舘悦子（環境創研株式会社）
野村潔（株式会社木下カンセー），岡本陸奥夫（NPO 法人預かりものを戻す会）

１．はじめに

日本の代表的な湖、琵琶湖とその流入河川では、行政機関により定期的に水質調査がおこなわれている。しかし、それらの調査は利水目的の化学的調査に主眼がおかれているため、そのデータは一般市民には理解しにくい。そこで、琵琶湖調査隊では、誰もが理解でき、また気軽に使える調査・診断手法として、観察者が水辺に対する感覚を点数で記録する調査（感覚調査：視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚）を試行し、その有効性や問題点について検証した。

２．方法

感覚調査は官能的調査であり、結果を客観的に評価するのは難しい。そこで、調査表はできるだけわかりやすい表現になるよう工夫した（表１）。調査地点ごとに観察項目（10 項目）に該当する点数（満点 10）をつけ、合計点数（満点 100）を算出した。

感覚による琵琶湖調査

調査地点（できるだけ具体的に）	調査日	調査時間	調査者名
	年　月　日	時　分	

天候	気温	水温	風向	風力（表1参照）	水位	波浪
	℃	℃		0･1･2･3･4･5･6以上	高・通常・低	1･2･3

観察項目＼点数	10 点	5 点	0 点	
水の濁り	①透明感がある。	②少し濁っている。	③濁っている。	点
水の色	①無色又は、少し青や緑色系に色づいている。	②少し、黄や茶色系に色づいている。	③茶や褐色系に色づいている。又は、赤潮やアオコが発生している。	点
湖岸の石や石垣等の藻類	①少し、茶色や緑色の藻が付着している。	②やや多く、茶色（綿状）や緑色（毛状）の藻が付着している。	③水草など、一面に緑や黄緑色（毛状）の藻が付着している。	点
水草	①無い又は、生えている。	②やや多く浮いている。	③多く浮いている。又は、岸に打ち上げられている。	点
湖辺のごみ等（水草以外）	①無い又は、少し、ヨシくずなどの自然ごみがある。	②やや多くの自然ごみ、魚漁具、少しプラスチックなどのごみがある。	③多くプラスチックなどのごみがある。	点
水の感触	①手や足がつけられそう。	②あまり触りたいと思わない。	③触りたいと思わない。	点
臭気	①異臭を感じない。	②わずかに異臭がする。	③はっきりわかるくらい異臭がする。	点
周辺の景観	①自然が豊かである。又は、石積みなどで風情がある。	②あまり風情が感じられないが悪くもない。	③人工的で殺風景な感じである。	点
音	①鳥のさえずりや波などの自然の音が聞こえる。	②気にならないくらいのボートや車の音などが聞こえる。	③気になるくらいのボートや車の音などが聞こえる。	点
魚がそこにいた場合	①食べられそう。	②あまり食べたいと思わない。	③食べたいと思わない。	点
全体的な感想				合計　点

注　1) 各観察項目ごとに該当する点を右欄に記入し、合計点数を算出して下さい。
2) 各観察項目ごとに、2つ以上該当した場合の点数は、平均値を算出してください。
3) 表1は、裏面にあります。なお、この表は、独立行政法人 国立環境研究所 環境情報センターの「公共用水域水質検体値データーファイル利用説明書」より作成いたしました。また、色相、臭気も同説明書を参考にしました。
4) 波浪は、近畿地方整備局管内港湾の波浪観測情報、波の解説ページより引用しました。

評価

1. 合計点数 80点以上	自然豊かで快適な環境	2. 合計点数 51点～79点	不快感を生じない程度の環境	3. 合計点数 50点以下	やや快適性に欠ける環境

表１．感覚調査表

全ての調査は、毎月 1 回、3 人以上の観察者でおこない、各々の合計得点の平均値を算出した。平均値が 80 点以上を「自然豊かで快適な環境」、51～79 点を「不快感を生じない程度の環境」、50 点以下を「やや快適性に欠ける環境」と評価した。

今回、琵琶湖南湖 6 地点（2006～2013 年）および草津市の河川 7 地点（2010～2011 年）（図１）の調査結果について考察をおこなった。特に、2010 年以降については、感覚調査と同時に水質の化学的調査（pH, COD, SS 等）もおこなったことから、それらの関係性についても検証した。

３．結果

琵琶湖では、地点ごとに毎年特徴的な変動を示した。2012-2013 年を例にとると、瀬田唐橋は年間を通じて比較的良好だったが、その他の地点は、水草や風の影響を受ける季節は悪い結果となった（例：唐崎神社・浮御堂、夏～秋）（図２）。

草津市内の河川では、春に結果が悪くなる地点があり、農業排水の影響が考えられた。

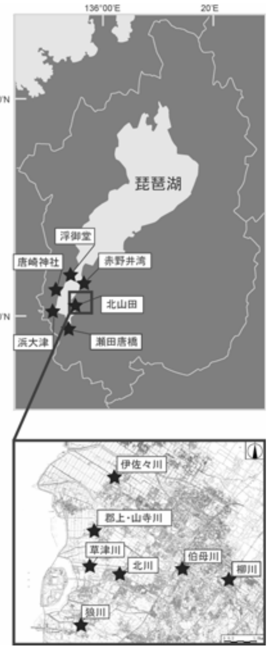


図１．調査地点

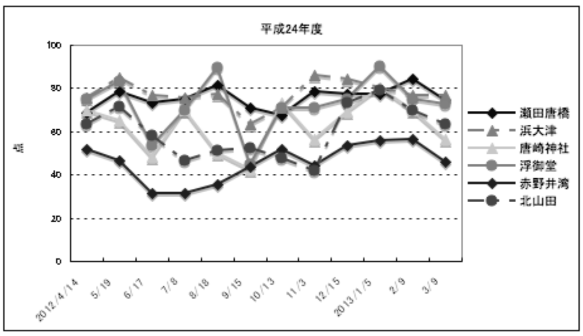


図２．2012-2013 年　琵琶湖の感覚調査結果（観察者の平均点）

４．考察

感覚調査は、特別な道具を用いることなしに水辺の環境を市民目線で判断することができ、環境保全の啓発ツールとして活用できるものと考える。今回、調査表を工夫し継続的に調査をおこなった結果、観察者誰もが共通理解の下に評価できるようになり、各調査地点の水辺の環境について一定の傾向を読み取ることができた。今後、感覚調査の有効性を高めるためには、この調査方法の認知度を高め、統計学的にも有意と判断でき得る観察者数を確保するとともに、多くの市民が“一斉”に参加することで、水環境保全のための連携意識を高めていくことが重要であると思われる。

参考文献：「平成 19 年度における琵琶湖（南湖）沿岸部の水質等調査結果について」月刊「水」，Vol.51-3, 69-75（2009）

3B03　X線CT撮影による湖沼底泥中のガス泡構造の解析

*三浦真吾[1)2)]，高津文人[2)]，津田啓介[3)]，阿武泉[3)]，山口雅之[4)]，
高屋展宏[2)]，渡邉英宏[2)]，佐藤貴之[2)]，今井章雄[2)]
[1)]株式会社 武揚堂，[2)]国立環境研究所，[3)]茨城県立医療大学，[4)]国立がんセンター東病院

１．はじめに

嫌気条件下における湖沼底泥からは CO_2，CH_4，N_2O といった温室効果ガスが放出される。特に湖沼底泥で多く存在すると考えられる CH_4 は CO_2 に比べて 23 倍も温室効果が高いことから、湖沼底泥におけるガスの生成・消失メカニズムを明らかにすることは重要である。底泥におけるガスの生成及び消失には、酸化還元境界層（Redox Boundary Depth: RBD）が重要な役割を果たす。しかし、従来から行われている溶存酸素プローブやORP電極による計測は、深さ方向（鉛直1次元）の生物化学反応の結果を示しているにすぎず、3 次元的にガス泡や当該境界層を理解するには限界があった。そこで、我々は底泥中におけるガス泡の物理構造を評価することを展望した。

コンピュータ断層撮影(Computed Tomography: CT)は物体を放射線等で走査しコンピュータを用いて処理する事で、物体の内部画像を合成する技術である。中でも X 線 CT は、X 線の吸収度の違いにより画像を表現するが、特に気体と水の分離能に優れている。

本研究では、底泥中におけるガスの生成・消失メカニズムを検討するため、X 線 CT 画像計測を用いて、底泥中におけるガス泡の 3 次元空間構造の解析を試みた。

２．調査方法

霞ヶ浦の湖心において、2012 年 5 月より隔月で底泥コアのサンプリングを行った。サンプリングには不撹乱型柱状採泥器（HR 型）を一部改良して用いた（㈱離合社）。コアはアクリル製で内径 11cm、長さ 58cm のものを使用した。

画像計測には日本フィリップス製の工業用 X 線断層撮影装置（MUJ-22MM/CT）を使用した。最大管電圧 225kV、最大管電流 1mA で、撮影方法はノンヘリカルスキャンである。X 線 CT 装置の仕様により試料サイズの高さが 15cm と制限されたため、コアを表層から上層 0～12cm と下層 13～24cm に分割してから計測を行った。なお、前処理の際に其々のコア上下 1cm 程度は分割処理の影響が見られたため、検討から除外した。

３．結果

霞ヶ浦底泥に対して X 線 CT 画像計測を行い、ノイズ除去などいくつかの画像フィルタ処理を経て、底泥中のガス泡の 3 次元画像を作成することができた（図１）。ガス泡の空間分布には深度方向でかなりの違いがあること、ガス泡のサイズも大小あり、形状についても球形のものから横に偏平しているものなど様々であることが明らかになった。

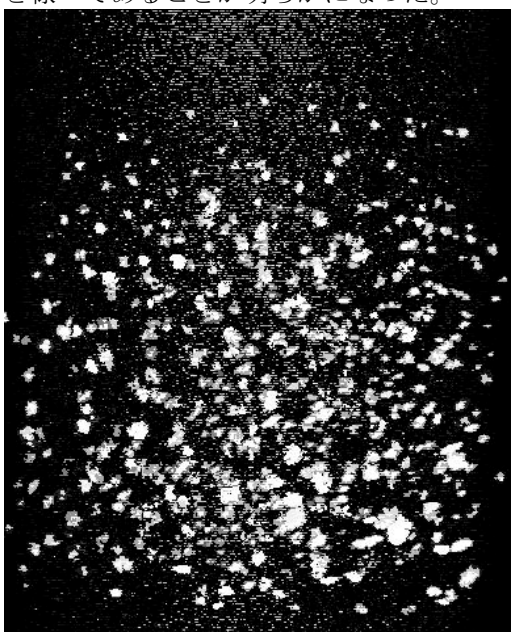


図１．X 線 CT 撮影による底泥コアの 3 次元画像

画像分解能が低いため小さなガス泡とノイズを区分することは困難であったため、閾値を設定して大きなガス泡のみを抽出することで定量化を図った。この結果、ガス量の空間分布にはいくつかのパターンがあることがわかった：①ある層で急激にガス量が増える（先鋭ピーク型）、②ガス量のピークが広域に渡って存在する（広域ピーク型）、③ガス量のピークが複数存在する（複数ピーク型）。

４．考察

本研究における画像計測は、ある瞬間におけるガス泡を捉えたものである。仮にガス泡が移動しないとするならば、其々の深度における生成及び消失の結果としての存在量を表していることになる。しかし、表層付近の泥が低密度なためガスが抜けやすいことは、図１で表層にガス泡が存在しない事からも明白で、ガス泡は移動すると考えるべきだろう。上述した①及び③はその場の生成・消失で説明しやすいが、②は下層で生成されたガス泡が上の層に移動した結果である可能性も考えられる。

X 線 CT を使用した画像計測は、底泥中におけるガスの空間構造を明らかにすることができた。今後は間隙水・底泥の化学分析等の結果を併せる事で、底泥中におけるガスの生成・消失メカニズムに関する検討を加えていきたい。

3B04　非定常的な流体運動による底面酸素輸送の変化

＊井上徹教（港空研），中村由行（港空研）

１．はじめに

本研究では，水・堆積物界面における酸素輸送に対するvortex sheddingの影響についてモデル解析により検討する．また，この検証を目的として，矩形循環水路を用いた室内実験結果との比較も行った．

２．モデル解析

cavity vortex theoryに従うと，粗度要素間におけるsemi-stagnant film内の水塊更新を考慮した酸素輸送速度Jは次式で表現される．

$$-J=\left(\frac{D_{zm}}{s}\right)^{\frac{1}{2}}\left\{C_O\left(z_+=z_{0+}\right)-C_O\left(z_+=0\right)\right\} \quad (1)$$

ここで，D_{zm}は鉛直方向の分子拡散係数，sはsemi-stagnant film内の水塊の更新周期，zは鉛直方向の位置（水・堆積物界面を0，上向きを正とする），$C_O(z)$は酸素濃度，z_0はsemi-stagnant film厚さ，添字"+"は摩擦速度u_*と動粘性係数νによる無次元量を表す．

また，Black (1968)は壁面近傍での乱流場において有用なスケール則を導入し，理論的な解析および多数の実験結果からvortex shedding（渦放出）の平均周波数ωについて定式化している．

$$\omega\nu/u_*^2=2\pi\nu/su_*^2=0.056 \quad (2)$$

解析においてはvortex sheddingによる拡散境界層の更新についても考慮した(図1参照)．詳細については，Inoue and Nakamura (2011)を参照されたい．

３．室内実験

装置は長さ2.5 m，幅12.5 cm，高さ15 cmの矩形断面をもつ循環式管水路であり，可変ポンプを用いることで管路内の流速を変化させることができる．流速を6段階に変化させ異なる桟粗度を組み合わせることにより，計17条件の実験を行った．堆積物による酸素消費速度は循環水の酸素濃度の時間変化から計算した．

４．モデルと実験との比較

酸素輸送速度の無次元量（スタントン数St）でそれぞれの比較を行った結果，両者の平均的な誤差は2.6%，決定係数は0.732と，解析結果は実験結果を精度良く再現していた(図2)．vortex sheddingによる酸素鉛直分布の変化を考慮しない解析では平均的な誤差は34.2%となり，vortex sheddingとそれに伴う拡散境界層内の酸素濃度の急変に起因する拡散輸送の非定常的な変動が酸素輸送速度に対して重要な現象であることが示された．

参考文献

1) Black, T.J. (1968) NASA Contractor Report, CR-888.
2) Inoue, T. and Nakamura, Y. (2011) J. Environ. Eng., Vol.137, pp.28-37.

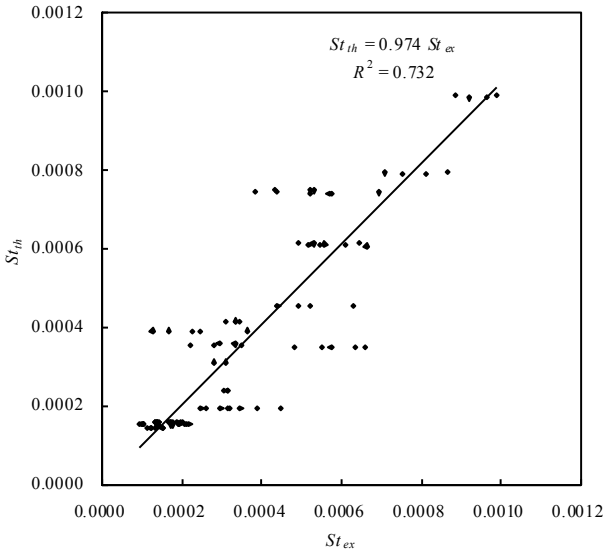


図2　無次元化した酸素輸送速度に関する理論解と実験結果との比較．横軸は実験結果，縦軸は理論解に対する無次元量を示す．

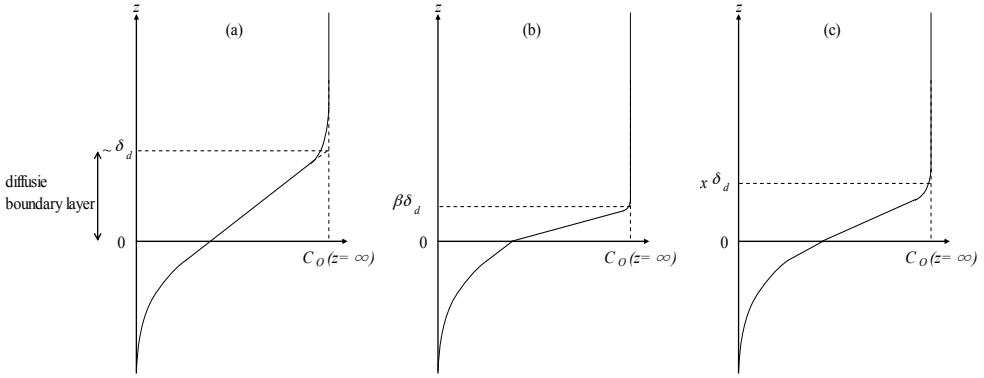


図1　vortex shedding発生前後における，酸素鉛直分布変化の概念図．(a) vortex shedding発生前には，界面における濃度勾配は比較的緩やかで，拡散輸送速度も比較的小さい値をとる，(b) vortex shedding発生直後は，拡散境界層上部の水塊が更新され，濃度勾配は一時的に急になり拡散輸送速度も一時的に大きな値となる，(c) その後，拡散境界層の発達に伴い，濃度勾配は次第に緩やかになり，拡散輸送は定常状態でのそれに近づいていく．

3B05

琵琶湖における沖向き物質輸送

*長谷川直子（お茶の水女子大学）・熊谷道夫（立命館大学）
・北澤大輔（東京大学生産技術研究所）・伴修平（滋賀県立大学）

１．はじめに

琵琶湖において春季に形成される subsurface 濁度層の成因と維持機構について調べた。琵琶湖では水温躍層が形成され始める 5 月頃になると、この水温躍層の下方に位置する Subsurface 内に、アンモニア態窒素濃度の高い層が形成されることが報告されている。このような供給は生物生産にとって重要であるが、その供給プロセスがよくわかっていない。このアンモニア態窒素は、濃度が高く局所的な収支が説明できないことや、1～２か月間に急激に増加することから、河川水や湖底泥の巻き上げなどによって供給されているのではないかと考えられている（Tanaka et al. 2010）。

そこで本研究では、栄養塩を含む濁度水が沿岸域から沖向きへ移動するプロセスがあるのかを明らかにする。

２．方法

琵琶湖北湖東岸彦根沖水深 30m 付近（St.K3, N35° 18.41370　　E136° 12.67750）に、600ｋHz の ADCP を 1 台下向きに設置し、2010 年 7 月～2012 年 7 月まで流速と反射強度を１m 間隔で計測した。また、計測データと比較検証を行うため、湖岸から湖心への物質輸送量を評価するために、3 次元数値シミュレーションを行った（Kitazawa 2013）。

３．結果・考察

観測結果によると、水深 10－20m 付近の水温躍層下端において湖底泥を巻き上げるのに十分なレイノルズストレスが発生していることが明らかになった。周波数特性を調べたところ、慣性周期に近い内部波の存在が見つかった。この周波数帯には高いエネルギーが集積していた。慣性周期近くの高いエネルギーの波動が卓越していることから、内部ポアンカレ波の可能性があると思われる。反射強度から濁度を推定したところ、夜間に濁度が高くなることが分かった（下図参照）。湖底から微小生物（ヨコエビなど）が浮上する可能性を検証したが、流速データによると上下方向の流速値がほとんどなかったため、この可能性は否定された。

Subsurface に対応する水深で湖底泥の巻き上げがありうるか、という問いについては、レイノルズストレスの計算によって巻き上げに十分な応力が存在するということが分かった。巻き上げが発生する時期は、高頻度で発生する可能性が示唆された。沖向き輸送の物理的要因としては、特に夜間に濁度が上昇していることから、波動による輸送だけでなく密度流による輸送も考えられるが、さらなる解析が必要と思われる。

Tanaka, L. L., S. Ban and M. Kumagai (2010): Can. J. Civ. Eng., **37**:1-9

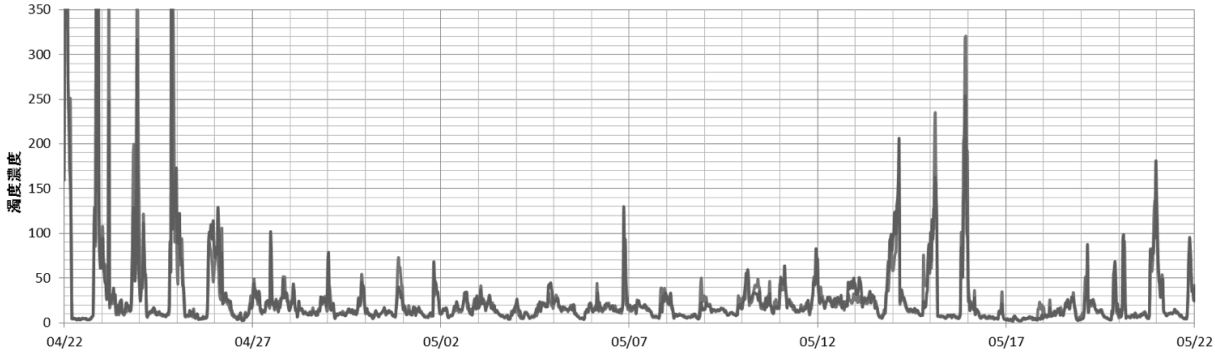


図１：ADCP によって計測された反射強度から推定した濁度変動

3B06　琵琶湖環流に関する残された課題―エネルギー源の問題

戸田　孝（滋賀県立琵琶湖博物館）

１．はじめに

琵琶湖全体をめぐる「環流」は 1926 年に発見された。そして、1960～1980 年代に観測と理論の両面からの検討が精力的に進められたが、1990 年代以降は環流そのものに着目した研究は少なくなっている。これには、環流の力学的構造や生成維持機構は概ね解明されたとの考えがあるものと思われる。

しかし、戸田（印刷中）がこれまでの研究成果を再整理したところ、環流に関して未解決の重要な力学的課題が残っていることが再確認された。それは、環流の成因、特にエネルギー源に関わる問題である。

２．過去の研究成果の再整理

環流のエネルギー源の問題を未解決としている根本原因は、環流が地衡流という「平衡状態」であることにある。即ち、どのエネルギー源でも、同じ地衡流という形に落ち着いてしまうので、その結果をいくら検討しても成因が特定されないのである。

歴史的には、湖上風のベクトル場の回転をエネルギー源とする「風成循環説」と地形性貯熱効果をエネルギー源とする「熱成循環説」が提唱されてきた。何れの説でも定性的には矛盾無く環流の成因を説明できてしまうことは明らかであり、成因の特定にはエネルギー収支の量的評価が不可欠であることは早くから共通認識になっていた。

エネルギー収支の量的評価を初めて系統的に行ったのは、診断モデルに熱流入や湖上風の影響を導入した Endoh(1986)である。それによると、春先から 7 月までは強い地形性加熱効果によって環流が生成維持されて風はそれを助ける役割を果す。そして、10 月以降には地形性加熱効果はむしろ負になり、環流は専ら風で維持されている。

一方、Akitomo et al. (2009a)は、近年飛躍的に向上した計算機の演算能力を利用して、琵琶湖内の状況を詳細に再現したモデルを構築し、風や加熱の実際の観測データを与えて、実際に観測される流れを概ね再現することに成功した。そして、Akitomo et al. (2009b)は再現された流れを分析して、環流の形成に寄与しているのは専ら風のエネルギーであり、加熱の影響は二次的であると結論した。また、加熱に起源を持つエネルギー流入を浮力の仕事量で評価し、熱的作用が環流を維持する作用は専ら秋の冷却期に働くと結論した。

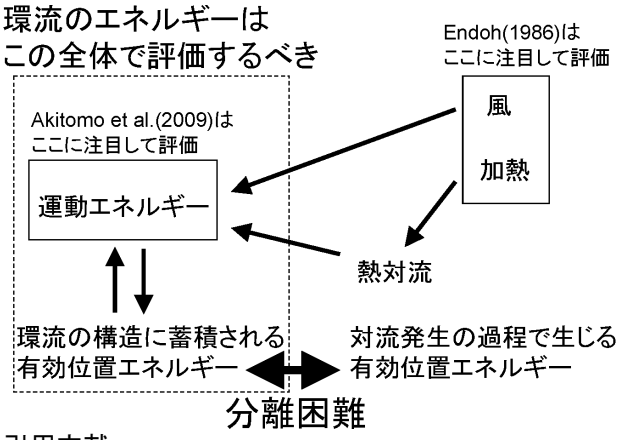
３．エネルギー収支の主体としての「環流」の定義

この２つの結果は、一見すると相互に矛盾しているように思えるが、必ずしもそうとは言い切れない。それは、Endoh (1986)が専ら湖全体へのエネルギーの入力に着目して評価しているのに対して、Akitomo et al. (2009b)は形成された環流のエネルギーに対する収支に着目して評価しており、両者の関係が明確でないからである。

そもそも、収支を考える際の主体となるべき「環流のエネルギー」とは一体何であろうか？環流は地衡流であるから、流れと成層構造が互いに支え合う構造になっている。従って、流れが持つ運動エネルギーと成層構造が持つ有効位置エネルギーを併せた全体を環流のエネルギーと考えるべきである。

しかし、Akitomo et al. (2009b)は環流のエネルギーを専ら運動エネルギーのみで評価している。その結果、彼ら自身も認めているように、多くのエネルギーが、環流中心域での水温躍層の高まりを形成するために失われるという評価になる。しかし、そのエネルギーは環流から失われたのではなく、「有効位置エネルギー」という形で環流の中に蓄積し続けていると考えるべきであろう。

しかしながら、この「環流が蓄積している有効位置エネルギー」の収支を Akitomo et al. (2009b)の手法に整合する形で評価するのは容易ではない。加熱の初期段階で形成される対流の作用との分離が困難だからである。エネルギー収支から環流の成因論を考えるためには、このような概念定義に対する慎重な考察が必要であろう。



引用文献

Akitomo, K., K. Tanaka and M. Kumagai and C. Jiao (2009a): Annual cycle of circulations in Lake Biwa, part 1: model validation. Limnology, 10: 105-118.

Akitomo, K., K. Tanaka and M. Kumagai (2009b): Annual cycle of circulations in Lake Biwa, part 2: mechanisms. Limnology, 10: 119-129.

Endoh, S. (1986): Diagnostic study on the virtical circulation and the maintenance mechanisms of the cyclonic gyre in Lake Biwa. J.Geophys.Res., 91: 869-876.

戸田孝（印刷中）：琵琶湖環流の研究史．陸水学雑誌，75（予定）

3B07　琵琶湖南湖の沈水植物の動向

*芳賀裕樹（滋賀県立琵琶湖博物館）

１．はじめに

琵琶湖南湖では 1990 年代半ばより沈水植物が増加に転じ、2000 年以降は過去に例を見ないほど繁茂した状況になっている（芳賀ら，2006；芳賀・石川，2011）。

筆者らは 2002 年と 2007 年に南湖の 52 地点で沈水植物の定量調査を行い、南湖全体での沈水植物の総現存量（乾重量）がそれぞれ 10735 ± 3030 t と 9623 ± 2665 t であることを報告した（芳賀ら，2006；芳賀・石川，2011）。ところが 2012 年に同様の調査を行ったところ、沈水植物の現存量が著しく低いことが明らかになった。

筆者らは前述の調査と並行して、魚群探知機による沈水植物の平均群落高のモニタリングを行っている。

本報告では 2012 年の定量調査の結果の詳細を報告するとともに、2006 年から実施している魚群探知機による調査の結果を元に 2012 年の異変の評価を行う。

２．材料と方法

定量調査の方法は芳賀ら（2006）に従った。すなわち、1ｋｍ間隔で設置した 52 定点でダイバーによる沈水植物の定量採取を行い、得られた試料を種別に分別し、乾燥重量を測定した。沈水植物の採取は 2012 年 9 月 4―7 日に行った。この調査では表層から 6ｃｍまでの底質試料をコアサンプラーで採取し、栄養塩の分析を行った。

魚群探知機による観測は原則として Haga et al. (2003)に従い、南湖に 500m間隔で設定した東西方向の観測線上を時速 10±1 ノットで航行して、エコーグラムをビデオに記録した。記録したエコーグラムを画像解析処理して沈水植物の平均群落高を算出し、平面分布図を作成した。

３．結果

2012 年の定量調査結果から推定された南湖全体の沈水植物の現存量は 3263 ± 1445 t だった。種別ではセンニンモの現存量が 1263 ± 847 t で最も大きく、ササバモ（454 ± 542 t）、クロモ（434 ± 347 t）、マツモ（390 ± 318）、オオカナダモ（332 ± 295 t）、コカナダモ（299 ± 397 t）がこれに次いだ。沈水植物ではないが糸状藻類の現存量は 499 ± 306 t に達し、第 2 位のササバモよりも多くなった。この調査結果を 2002 年、07 年と比較すると、沈水植物の総量は約 1/3 であり、特にセンニンモ、オオカナダモ、マツモの減少が著しかった。

次に魚群探知機によるモニタリングの結果から 2012 年の沈水植物の減少を評価した(図１)。9 月の南湖全体の平均群落高は 2006 年から 2011 年まで大きな変動を示さず、2012 年に著しく低下した。この結果は 2012 年の沈水植物の減少が突発的な事件だったことを示している

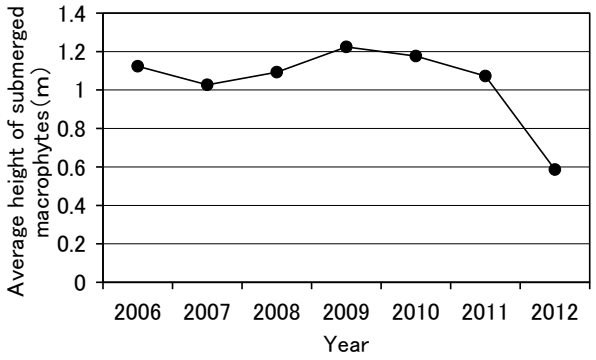


図１　南湖全体の 9 月の平均群落高の経年変化

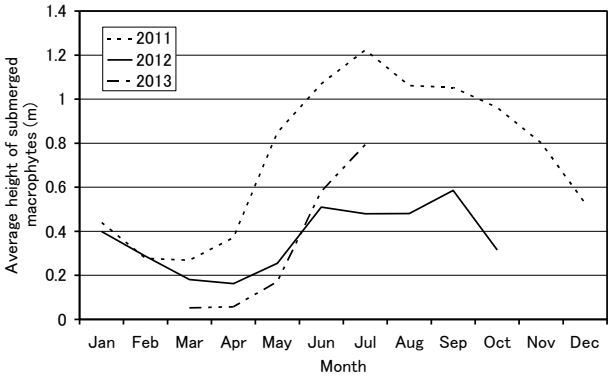


図２　2011-2013 年の平均群落高の経月変化

2011 年と 2012 年の平均群落高の経月変化を比較したところ、2012 年は 4 月から 5 月にかけて伸長が見られず、6 月にかけてはやや伸長するものの、7 月と 8 月に再び伸長が止まったことが明らかになった。従って 4―5 月、7―8 月の成長抑制が 2012 年の沈水植物減少の原因と考えられる。5 月と 7 月に著しい透明度の低下があったことがわかっている（井上、私信）。おそらく、透明度の低下に伴う光量不足が成長不良の原因であろう。底質の栄養塩分析の結果、栄養塩の不足を示す兆候はなかった。

2012 年の沈水植物の減少は一時的なものにとどまりそうである。今年も継続している魚群探知器による観測結果によれば、2013 年の沈水植物の平均群落高は 7 月 16 日時点で前年を大きく上回り、2011 年の 65%に到達した（12 年は 39%）（図 2）。一方で平均群落高の分布には大きな変化が生じている。報告ではこの点についても報告する。

3B08 Effect of magnesium on the calcite encrustation of *Chara fibrosa*

Asaeda Takashi (Saitama University, Department of Environmental Science and technology)

*Senavirathna MDH Jayasanka (Saitama University, Department of Environmental Science and technology)

1. Introduction

Many aquatic habitats contain higher concentrations of Ca than Mg. However, there are a number of charophyte habitats in which the concentration of Mg is far greater than the concentration of Ca (Anadón *et al.*, 2002; Siong and Asaeda, 2009) and in some lakes, such as Myall Lake, New South Wales, Australia, the Mg concentration of the water can be as high as 90 ppm (Asaeda *et al.*, 2007). Calcium in the water results in calcification in some charophytes and low Mg/Ca (mole) ratios enhance the calcite encrustation of some *Charophyte* species (Anadón *et al.*, 2002).

There is no literature regarding the impact of Mg on calcite encrustation and the distribution of Mg in *C. fibrosa*. In addition, there is very little literature available about the position and pattern of calcite encrustation in charophytes. Therefore, we investigated the impact of Ca, Mg, and combinations of Ca and Mg (Ca+Mg) on *C. fibrosa.* We examined the cell micro-structure to identify the position and pattern of encrustation.

2. Method

Apical tips of *C. fibrosa* (3 internodes, approximately 2.5 cm in length) with similar morphological features (same length and internode distance) were cut and planted in individual 1-L glass beakers, positioned such that 2 internodes (approximately 1.5 cm) were above the substrate. The substrate in the experimental beakers consisted of washed river sand (90% < 1 mm). Modified Forsberg solution (Forsberg, 1965) that contained 4 ppm Ca and 2 ppm was used and to observe the effect of Mg on calcification, Ca (Ca treated), Mg (Mg treated), or combined (Ca+Mg treated) were added to the culture medium at concentrations of 4 or 80 ppm.

Plant segments were observed with electron microscope (Hitachi S-3400 SEM). Point analysis and point analysis was performed to identify presence and the distribution of Ca, Mg, C and O in the intercellular space. Backscattered electron images were taken to identify the distribution of calcium carbonate (CaCO3) crystals.

3. Results

The line analysis confirmed that the white crystals observed in the intercellular space of plants are mainly contained Ca, but a tiny amount of Mg. Point analysis indicated that the white crystal was composed of Ca and C at an atomic ratio of 1:1, indicating that encrustation was probably composed of calcites. Backscattered electron images indicated the presence of calcium carbonate ($CaCO_3$). In plants treated with 4 ppm Ca, small amount of calcium carbonate crystal was found in the cell walls of the central cell (Fig. 1a). In plants treated with 80 ppm Ca, calcium carbonate was observed outside the cell walls of the central cell in large amount (Fig. 1b). However, a smaller amount of $CaCO_3$ crystal was found in plants treated with 80 ppm Ca+Mg combined than in plants treated with only Ca (Fig. 1c). For the 80 ppm Mg treatments, the $CaCO_3$ crystals were tiny and scattered (Fig. 1d).

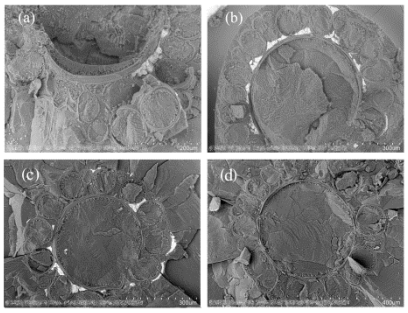


Fig. 1 (a) 4 ppm Ca-treated intermodal cell, (b) 80 ppm Ca-treated intermodal cell, (c) 80 ppm Ca+Mg treated internodal cell (d) 80 ppm Mg-treated internodal cell.

4. Discussion

The presence of Mg in the water is reducing the calcification of *C. fibrosa*. Further, the *C. fibrosa* do not form $MgCO_3$ crystals even though, the Mg exposure is extremely high.

Calcium is vital for maintaining an electric balance between the extracellular and intracellular space (Fromm and Lautner, 2007), and also plays a vital role in plant internal signaling systems (Jia and Zhang, 2008; Tuteja and Sopory, 2008). The influx and efflux of Ca is maintained via ion channels which are regulated by cellular functions (Vymazal, 1995; Rudd and Franklin-Tong, 1999). Therefore, excessive influx of Ca from water that contains high concentrations of Ca and calcification inside cells are avoided. This results in calcification outside of the cells.

Anadón, P., *et al*, 2002. Mineralogy and Sr–Mg geochemistry of charophyte carbonates: a new tool for paleolimnological research. Earth Planet. Sci. Lett. 197, 205-214.

Asaeda, T., *et al*, 2007. Morphological and reproductive acclimations to growth of two charophyte species in shallow and deep water. Aquat. Bot. 86, 393-401.

Siong, K., Asaeda, T., 2009. Effect of magnesium on charophytes calcification: implications for phosphorus speciation stored in biomass and sediment in Myall Lake (Australia). Hydrobiologia 632, 247-259.

3B09　宍道湖における維管束植物の繁茂状況と今後の課題

*山室真澄（東大・新領域）

１．Scheffer による浅い湖沼における alternative stable state

Scheffer et al.（2001）は、浅い湖沼では沈水植物が繁茂する状態と植物プランクトンが繁茂する状態が相反するとし（alternative stable state）、除草剤による沈水植物の衰退や殺虫剤によるミジンコの減少による植物プランクトンの増加もあり得るとしながらも、最も重要な要因として富栄養化を挙げた。そして、富栄養化によってひとたび沈水植物が衰退した水域で沈水植物が復活するには、衰退した時点以前まで栄養塩濃度を下げる必要があるとした。一方で植物プランクトン濃度を下げているのは栄養塩濃度の低下ではなく、沈水植物に生息する植物プランクトン捕食者の影響が大きいとの実験結果もある（例えばVanderstukken et al. 2010）。

島根県に位置する宍道湖では1950年代半ばまで沈水植物を肥料として使用するほど取れていたが、1950年代半ばに大幅に衰退した。Yamamuro(2012)はこの原因として、当時全国的に使用量が増加した除草剤であるとしている。その宍道湖では、2006年7月下旬から10月下旬にかけて採取された二枚貝ヤマトシジミから水田除草剤チオベンカーブが一律基準である0.01ppm以上検出されたことから、2007年度以降、除草剤使用量は急激に減少した（Fig.1）。おそらくこの除草剤使用量の減少により、2009年秋には南岸を中心にオオササエビモが繁茂し、2012年にはほぼ全域にまで繁茂域が拡大した。これによるヤマトシジミ漁への悪影響が懸念されている。

２．日本の平野部湖沼に alternative stable state 理論は適用できるのか

Yamamuro (2012)は、日本の平野部湖沼では富栄養化の段階に関わらず、大量の除草剤使用が開始された1950年代半ばから1960年初めまでの短期間に全国的に沈水植物が衰退していることを明らかにした。このことと、先述のようにポジティブリスト制度による除草剤使用量の減少により宍道湖に再び沈水植物が繁茂するようになったこと、その際、栄養塩濃度や濁度、透明度は減少していなかったこと（山室ほか、印刷中）から、除草剤使用によって沈水植物が衰退した湖沼においては Scheffer の alternative stable state 理論は適用できず、沈水植物が復活しても、植物プランクトンが少なく透明度の高い状態にはならない可能性が高い。

３．汽水域における淡水性維管束植物の制御

鳥取県の湖山池では浮葉植物であるコオニビシを中心とするヒシ類が 2004 年頃から急激に繁茂し始め、数年で湖面積の約9%にあたる約60ha まで広がり、悪臭の発生や景観の悪化などの問題を引き起こした（森, 2011）。湖山池ではヒシによって植物プランクトンが減少する兆しはなく、アオコも同時に発生していた。このため湖山池ではヒシ類やアオコの繁茂を防ぐ目的で、2012 年 3 月に高塩分水の遡上を防いでいた水門を開放して汽水化した（鳥取県・鳥取市, 2012）。その結果、2012 年度においてはヒシ・アオコの発生は見られなかった。

このように塩分調節は汽水湖における水草管理に有効と考えられるが、その塩分に適応した別の大型植物が繁茂することにより弊害が生じる可能性は否定できない。今後宍道湖において塩分調節により水草の繁茂を制御するためには，汽水域に繁茂する可能性がある水草類の塩分耐性の情報とともに、どの期間その塩分を保つ必要があるかが解明される必要がある。

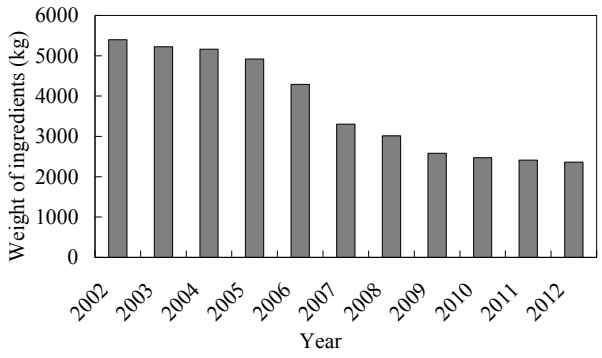


Fig.1 JA 出雲が販売した水田用除草剤に含まれる有効成分重量総量の年変化

４．引用文献

森明寛 2011. 湖山池に生育するヒシの発芽特性と生育環境. 鳥取県衛生環境研究所報 51: 33-36.

Scheffer, M. et al.2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413: 591-596.

鳥取県・鳥取市 2012. 湖山池将来ビジョン 恵み豊かで，親しみのもてる湖山池を目指して. 8pp.

Vanderstukken et al. 2010. The influence of plant-associated filter feeders on phytoplankton biomass: a mesocosm study. Hydrobiologia 646: 199-208.

Yamamuro, M. 2012. Herbicide-induced macrophyte-to-phytoplankton shifts in Japanese lagoons during the last 50 years: consequences for ecosystem services and fisheries, Hydrobiologia 699: 5-19.

＊本研究は科研費基盤 B（課題番号 24310053）により行われた。

3B10 音響パルス反射法を用いた水生植物・底泥厚・底質計測手法の開発

*水野勝紀，虻川和紀，浅田昭（東京大学生産技術研究所）
藤本泰文，嶋田哲郎（宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団）

１．はじめに

宮城県北部に位置する伊豆沼・内沼では，ハス *Nelumbo nucifera* が大きな群落を形成し，水面上を覆うことから沈水植物の生息環境を悪化させ，富栄養化を促進させる要因の一つとして考えられている．その一方で，伊豆沼・内沼は越冬期における日本有数のオオハクチョウ *Cygnus cygnus* の飛来地であり，近年，そのオオハクチョウの採食行動によるハスの生息密度への影響が示唆されている．そのため，伊豆沼・内沼の多様な環境体系の中で，ハスは特に重要視されており，このハス生息状況の把握のための持続的・定量的な計測手法が求められている．特に，直接計測では高効率・高密度の測定が困難な，底泥質や底泥厚み分布を精度よく測定可能な新しい観測システムが必要である．

そこで本研究では，音響パルス反射法と信号・画像解析プログラムを用いて，水中の植生分布や底泥質，厚みの計測を試みたので報告する

２．材料と方法

フィールド試験は，宮城県伊豆沼(38° 43’ N, 141° 04’ E)の鳥獣保護区特別保護地区内の一部で 2012 年 12 月 4 日に実施し，事前の目視確認によりハス生息密度が著しく変化していた地点を観測対象とした．また，図 1 に示す様に，観測系はデータ収録システム NI-DAQ (NI-6251, National Instruments)からパルス幅 5 μs の矩形波を繰り返し周波数 10 Hz で発生し，パワーアンプで増幅後，送波器(Original design, SEA)に印加し，湖底に向けて音波を照射した．また湖底等から反射した音波を受波器(TC4013, Reson)で受波し，プリアンプにて 20 dB 増幅後，NI-DAQ にてサンプリングレート 1 MHz でデジタル信号に変換し，PC にデータを蓄積した．また，PC 上で同期した GPS (A100, Hemisphere)から 10 fps で位置情報を取得した．
尚，音響信号解析及び画像解析は全て自作のプログラムを用いた．

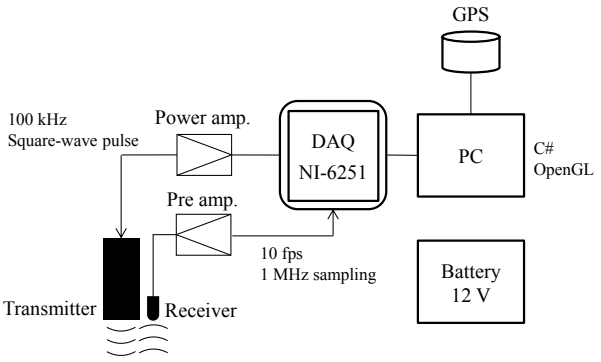


図１．観測系

３．結果

今回の試験で得られたデータの一部を図２に示す．この図は，ボートを移動しながら得られたデータ列を時系列方向に再合成し，音波の反射強度を明度に変換して得られるいわゆるエコーグラムである．Sample A は，ハスの侵入が進んでいない砂泥質エリアのエコーグラムであり，Sample B はハスが高密度に生息していた泥質エリアのエコーグラム，Sample C はハスが生息していなかった泥質エリアのエコーグラムを表している．図 2 の Sample C に示す様に，反射強度の違いから 20 cm 厚み程度の底泥層が確認出来る．尚，今回幾つかの測定地点において，エクマンバージ採泥器(5141Aw, 離合社)を用いて底泥のサンプリングを実施した．Sample A の密度は 1.40 g cm^{-3}, Sample B の密度は 1.25 g cm^{-3}, Sample C の密度は 1.20 g cm^{-3} であった．

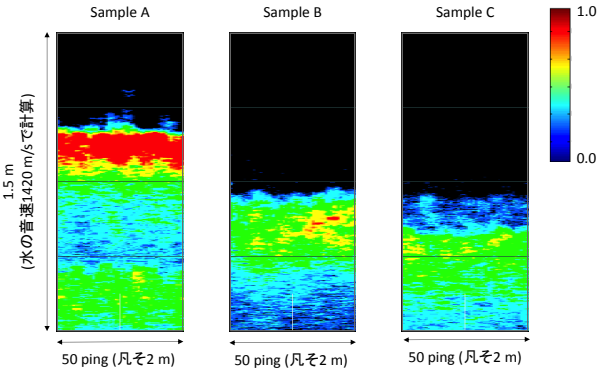


図２　音響信号再構築画像例

４．考察

今回，音響パルス反射法を用いた観測システム及び，信号解析プログラムを構築した．本システムを用いることで，低残響，高振幅のパルス信号送受波が可能となり，高い分解能を維持したまま底泥の厚みが計測出来た．基礎的なフィールド試験を実施し，底泥質，底泥厚み，白鳥が形成した蓮根の捕食穴を計測した．Sample A はその他のエリアと比較して湖底表面からの反射が強く，直接計測した密度も高かった．Sample B は，ハスが生息していなかった Sample C の泥質エリアと比較すると湖底下からの反射が強く，ハスの地下茎や堆積物などの影響により，湖底下の泥密度が Sample C よりも高くなっていたと考えられる．また，湖底表面からの反射の強さが同程度の泥質のエリア間でも，水深の違いによってハスの分布形状が異なっていた．水深の浅い箇所では，オオハクチョウが冬季に蓮根を捕食する際に出来る捕食穴が多数カウントされたことから，オオハクチョウの捕食活動が夏季のハス分布に影響を与えていたと考えられる．