

◆特集：閉鎖性水域の環境保全◆

沈水植物の有無が水質、生態系に及ぼす影響

中村圭吾\* 天野邦彦\*\*

1. はじめに

湖岸植生帯の復元が霞ヶ浦、琵琶湖をはじめ各地の湖沼で実施されている<sup>1)</sup>。湖岸植生帯の復元はヨシなどの抽水植物を中心に実施されることが多いが、健全な湖岸植生帯の復元のためには、浮葉植物、沈水植物を含めた復元が必要である。なかでも沈水植物は、最も水環境保全に寄与する<sup>2)</sup>と考えられている。一般的に、沈水植物が十分繁茂すると、植物プランクトンが減少し透明度が上昇する。

沈水植物が植物プランクトンを抑制し、透明度を改善するメカニズムとして、光の遮へい効果、栄養塩制限、アレロパシー（他感作用）、底泥巻き上がり防止、動物プランクトンの増殖、などが要因とされている<sup>3)</sup>。沈水植物が、透明度向上に果たす役割は湖沼によって異なるが、沈水植物の増加にともなって一様に透明度が向上するわけではない。水質が突然変化するいき値の存在が指摘されている<sup>4)</sup>。沈水植物が湖沼に対して占める容積百分率（%）であるPVI（Percent volume infested）<sup>5)</sup>を指標とすると、そのいき値は、おおむね15～30%程度に存在するとされる<sup>4)</sup>。

これら沈水植物の機能は、多くの湖沼を調べた結果や実験室で得られた結果から明らかになったものであるが、これまで、大規模かつコントロールした状態で沈水植物の機能を検討した事例はあまり多くない。特に国内では沈水植物に関して分類的研究、生理・生態的研究は比較的多く存在するものの、その水質浄化機能に関する研究は非常に限られている。

そこで本研究では、岐阜県各務原市にある自然共生研究センター内の実験池を用い、沈水植物の水質改善機能および生態的機能について検討した。

2. 実験の方法

2.1 実験池について

実験は、岐阜県各務原市に建設された自然共生研究センター内にある6つの実験池のうち、法面が土羽の4つの実験池（池1、池2、池3、池4）を使用した（図-1）。池は楕円形で、長軸が50m、短軸が30m、実験時の水深は0.9mで容積は533m<sup>3</sup>である。この実験池の池底と法面は土羽である。自然の状態では、水中部は沈水植物のクロモ（*Hydrilla verticillata*）のみが優占しており、法面は、イグサおよび陸生植物が繁茂している。

2.2 実験条件

実験は平成14年9月6日から10月11日に行った。観測は9月23日から10月11日の3週間かけて実施した。4つの実験池のうち、池1と池4については刈り取りを実施した「無植生池（無1、無2）」（写真-1）とし、池2と池3は「植生池（植1、植2）」（写真-2）として比較実験を行った。無植生池では9月6日に池の水を排水し、9月9日から11日にかけて、沈水植物や法面の植物など、すべての植物をバックホウおよび人力によってできるだけ除去した。同時に、池内の魚類、甲殻類、両生類などもできるだけ除去した。植生池では9月10日から11日にかけて排水し、植物はそのままにし、11日午前には魚類、オタマジャクシ、アメリカザリガニを中心とする水生動物の除去をおこ

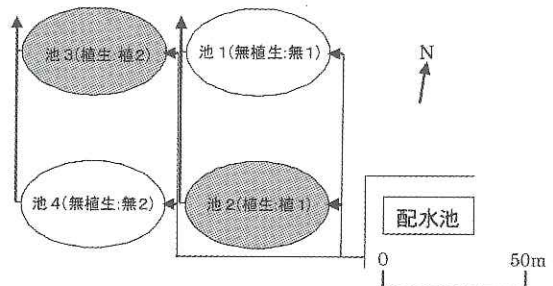


図-1 実験池の概要と配置

How does Submerged Plant Affect Water Quality and Ecosystem?

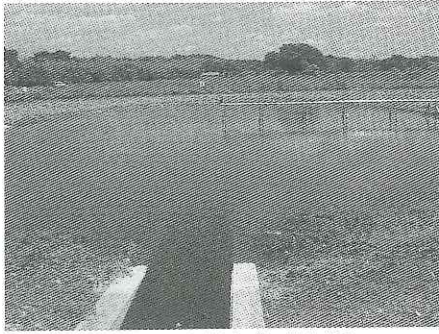


写真-1 実験池（無植生池）

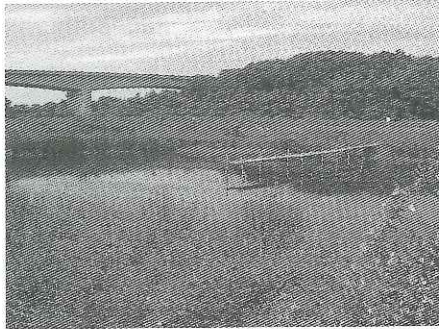


写真-2 実験池（植生池）

なった。水生動物の除去を行ったのは、これらの生物が水質に及ぼす影響を最小限にするためと、これらの生物条件を同等にするためである。全ての実験池は11日に再度湛水し、一週間の馴致期間において、9月23日から10月11日の3週間、観測調査を実施した。

実験池の水は木曾川の支川である新境川から途中、配水池を経由して供給されている。配水池のCOD、全窒素（TN）、全リン（TP）は平均でそれぞれ、 $4.4\text{mg L}^{-1}$ 、 $2.0\text{mg L}^{-1}$ 、 $0.14\text{mg L}^{-1}$ である。実験池の取水口である配水池の出口には、2mmメッシュのステンレスネットと5mmのプラ

スチックネットを設置し、魚類やその他のゴミなどの流入がないよう工夫した。実験池からの流出量は  $49 \pm 9.9$ （±標準偏差） $\text{m}^3/\text{日}$ で、滞留時間は、 $11 \pm 2.5$ （±標準偏差）日である。

2.3 水質・底質の測定

表-1に調査日程を示す。表-2は調査項目一覧である。水質および動物プランクトンは、週3回（月、水、金曜日）調査し、合計9回調査した。底質および植物プランクトンは週1回（金曜日）調査し、合計3回調査した。水質、動物プランクトン、植物プランクトンのサンプリングは、実験池上に架けられた栈橋から行い、実験池のほぼ中心において、水表面から池底10cm上までコアタイプの採水器を用いて実施した。水素イオン濃度（pH）と溶存酸素（DO）については表層と池底10cm上の2層で採取し分析した。採水にはバケツを用い、底層には北原式採水器を使用した。底質のサンプリングについては中心部においてスミスマッキンタイヤー採泥器および改良型を用いて、1池につき3回採取し、それらの試料をコンポジットして分析した。

2.4 底生生物・植物調査

底生生物は実験終了日（10月11日）に、池ごとに4地点（池を4等分し、1地点/1区画）で採取した。各調査地点において底質調査同様3度サンプリングし、それをコンポジットした試料の底生生物を調査した。内容は種の同定、種ごとの個体数、分類群ごとの湿重量測定である。

沈水植物の繁茂を表す指標としてここではPVI（Percent Volume Infested）を使用した<sup>5)</sup>。PVIは池容積に占める大型水生植物の占める体積百分率でCanfieldら（1984）<sup>5)</sup>が用いて以来、「浅い湖沼」の研究者らに多く用いられている。PVI調

表-1 調査日程

日付	9月																														10月									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
排水（無1、無2）	■																																							
刈取り（無1、無2）				■	■																																			
排水（植1、植2）						■	■																																	
湛水																																								
馴致																																								
水質&動物プランクトン																																								
植物プランクトン&底質																																								
底生生物&植生																																								



査は実験終了日に1回実施した。PVIの測定は以下のように行った。まず、実験池の上にロープを縦方向、横方向に5m間隔で設置し、38区画、26格子点を設定した。次に、水深と植物の高さを各格子点において測定した。その次に、各区画における沈水植物の被度を10%間隔で目視により測定した。PVIは各区画における水量と植物が優占する体積の比として計算される。植物の体積は、被度とその区画を取り囲む格子点の植物の高さの平均値の積として計算した。

### 3. 沈水植物が水質や生物に及ぼす影響

#### 3.1 植物

実験終了日におけるPVIは無植生池の無1、無2においてそれぞれ3%、10%、植生池の植1、植2においてそれぞれ38%、84%であった。無植生池において、刈取り後4週間で植物の回復はある程度みられたものの、植物が豊富な「植生池」とは異なる、植物の貧弱な「無植生池」を作り出すことにある程度成功したと言えよう。本稿では、この4つのPVIを各池のPVIとして議論を進める。

#### 3.2 水質・底質

植生池では透明度の高い水質を観測できた。一方、無植生池では濁度の高い水が観測された。図-2は各池の水質の経時変化を示している。植生池は黒の凡例で、無植生池は白抜きの凡例で示す。括弧内の数値は各池のPVIを表す。図-2のなかでは、特に、濁度、クロロフィルa (chl.a)、COD、全リン (TP) に関して植生池と無植生池に差があった。

水温については、表層においては平均22℃で、差がなかったが、底層では池によって差があった。水温は、高いほうから無2、無1、植1、植2であり、PVIが高いほど底層の水温が低い傾向があった。

溶存酸素 (DO) については、無植生池では表層と底層に差がなかったが、植生池では底層において表層よりもDOが低い状態が観測された。表層と底層のDOの平均値の差はPVIの増加にともなって増加していた。植物の繁茂した植生池では、池の水が滞留することにより底層のDOが減少し、植物によって熱伝達が抑制され水温が上昇しなかったと考えられる。

CODについては無植生池で植生池よりも明ら

表-2 水質等調査項目一覧

現地観測項目	天候、気温、水温、水深、透視度、水色、風向・風速
水質等調査項目	水素イオン濃度 (pH)、導電率 (EC)、濁度、浮遊物質量 (SS)、強熱減量 (VSS)、溶存酸素 (DO)、COD <sub>Mn</sub> 、全窒素 (TN)、アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N)、亜硝酸態窒素 (NO <sub>2</sub> -N)、硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N)、全リン (TP)、リン酸態リン (PO <sub>4</sub> -P)、クロロフィルa (chl.a)
底質	含水率 (%), COD, TN, TP
底生生物	採泥器によるサンプリング調査
植生	PVI調査

かに高い値であった。無植生池のなかでも無1 (PVI3%) のCODは無2 (PVI10%) よりも有意に大きかった (two-factor ANOVA, Fisher's PLSD, P < 0.01)。その一方、植1 (PVI38%) のCODは植2 (PVI84%) と有意な差はなかった (Fisher's PLSD, P = 0.33)。同様の統計的結果は、濁度、クロロフィルa (chl.a)、TPについても観測された。これらの原因は主として、水生植物による巻き上がり防止、植物プランクトンの抑制によると考えられ、CODやTPの結果もこれらの現象に影響された結果と考えられる。これらの結果から、水質はPVIの増加にともなって改善されることが分かった。ただし、PVIが38%と84%についてはPVI増加による水質変化は小さかった。したがって、実験池における「清水」と「濁水」のいき値は10%から38%の間にあると考えられ、海外における研究事例と同様の結果となった。

窒素、溶解性有機態炭素 (DOC)、リン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P) についても無植生池において植生池よりも有意に大きい値が観測されたが、無1と無2に有意な差はなかった。硝酸態窒素については、4つの池について有意な差がなかった。アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素については4つの池でほとんど検出されなかった。したがって、植生池と無植生池の全窒素 (TN) の差は、懸濁性窒素の差、おそらくは植物プランクトンによるものと考えられる。

#### 3.3 動植物プランクトン

無植生池における植物プランクトンの個体数は、植生池よりも豊富であった。無植生池では緑藻類が優占しており、植生池においては珪藻類が主に優占していた。図-4に無1と植1の植物プランク

トンの結果を例として示す。無1のグラフにあるように植物プランクtonの個体数は実験が進むにつれて減少した。これは無植生池における沈水植物の回復の影響と考えられる。無1における植物

プランクtonの個体数は無2の個体数よりも少なく、水質の結果で見たクロロフィルaの傾向と同様であった。

図-5に無1と植1の動物プランクtonの結果を

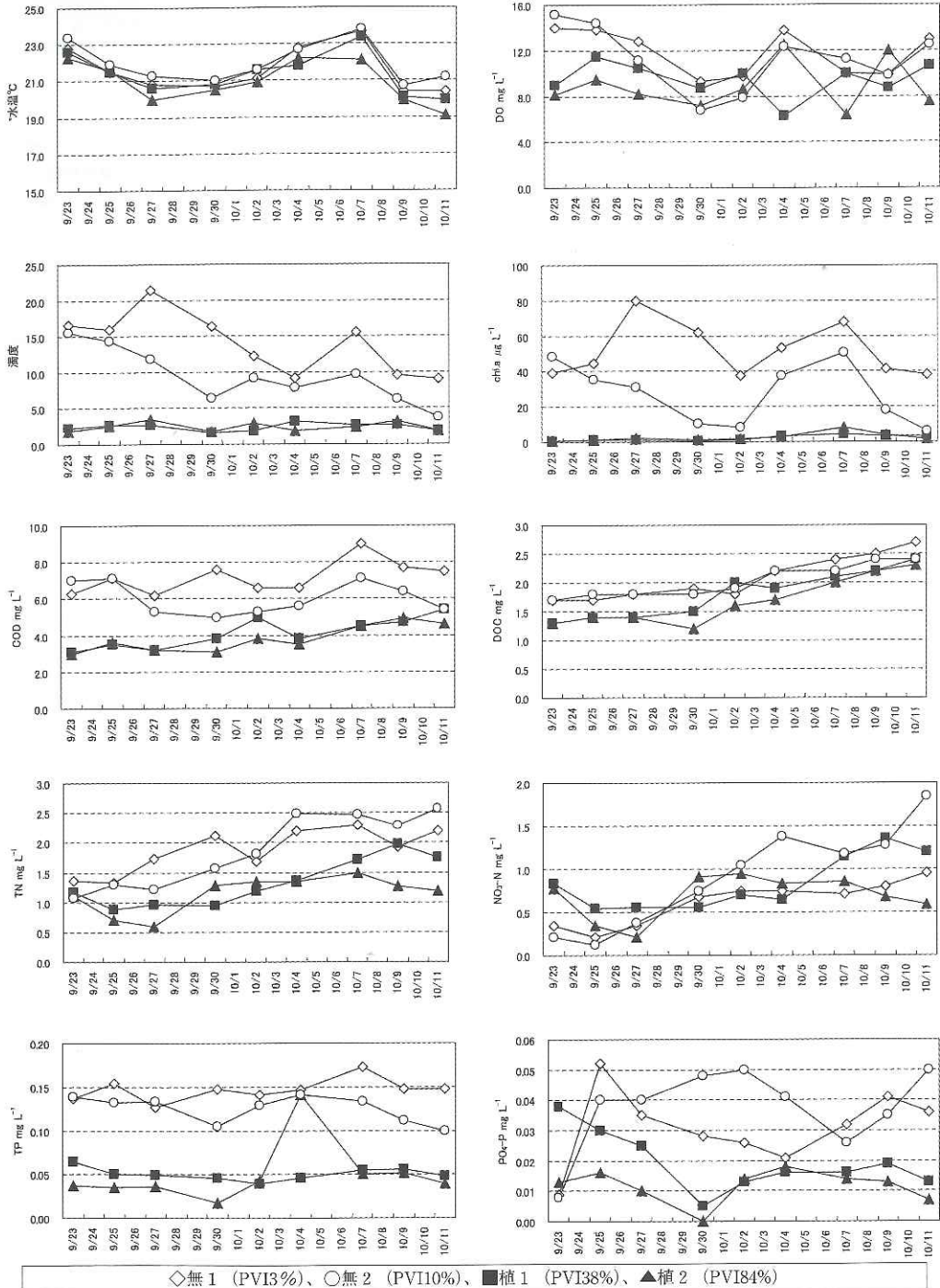


図-2 各水質項目の経時変化 (黒の凡例は植生池を、白の凡例は無植生池) \*水温は底層の結果



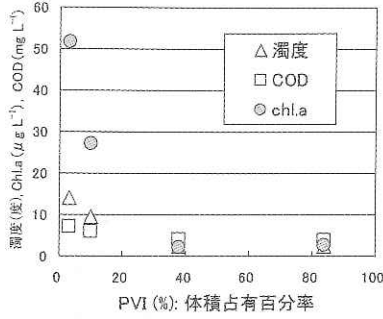


図-3 各池のPVIと水質

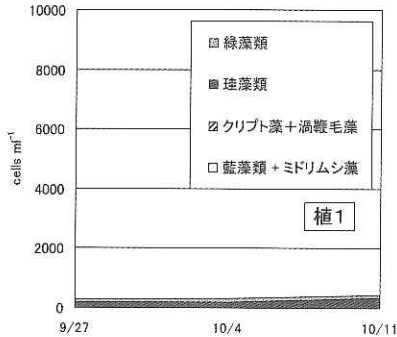
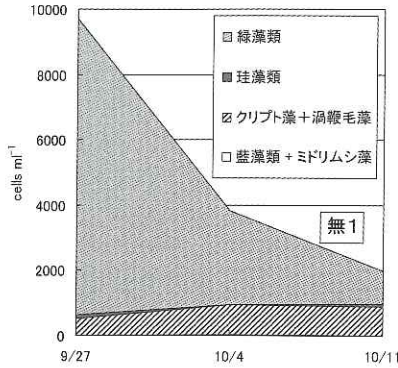


図-4 植物プランクトン

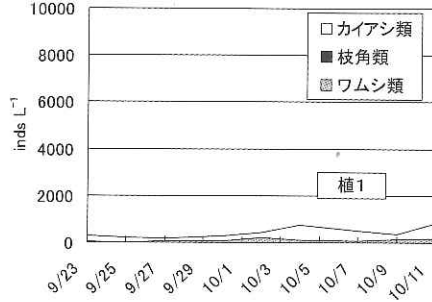
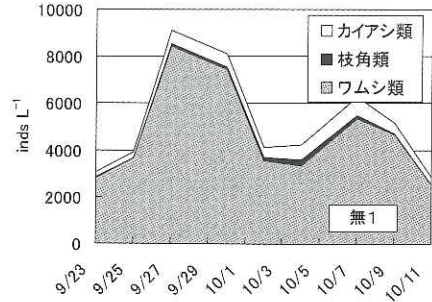


図-5 動物プランクトン

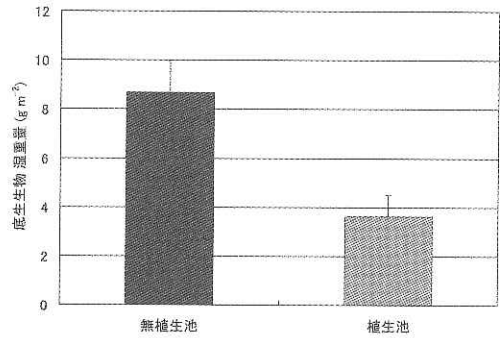


図-6 貧毛類 (ミミズなど) の湿重量

例として示す。植物プランクトンと同様に、無植生池における動物プランクトンの個体数は豊富で、植生池における動物プランクトンの個体数は少なかった。無1においては安定してワムシ類が優占(個体数で平均89%)していたが、無2においてはワムシ類が優占しているもののその比率が低く(平均で65%)、カイアシ類、枝角類が比較的多くなる。無1における動物プランクトンの個体数の変動は、藻類の現存量を表すクロロフィルaの変動と同様の変動を示し、その相関係数は $r = 0.89$  ( $P < 0.01$ )と高い相関を示した。無2においても動物プランクトンの個体数の変動とクロロフィルaの変動には関連が見られたが、無1のような相

関は示さなかった。その理由として、無1においては、実験期間を通じて、ワムシ類が優占したため個体数と現存量に密接な関係があるのに対し、無2においては、ワムシ類とワムシ類より個体の大きいカイアシ類や枝角類が混在していたために、単純にクロロフィルaと個体数を比較できないためであると考えられる。

### 3.4 底生生物

底生生物について植生池と無植生池を比較すると、エラミミズ、ユリミミズ属、カユスリカ属の1m<sup>2</sup>当りの個体数については、無植生池の方が多く結果となった。個体数については、クロイトンボ属のみ、植生池が多い結果となった。種類数、個体数では無植生池の方が多く結果となった。分類群別湿重量でみると、ミミズ綱 (t test,  $P <$

0.01) とハエ目 (t test,  $P < 0.01$ ) において無植生池が植生池よりも有意に大きい結果となった (図-6)。無植生池において、エラミミズ、ユリミミズ属、カユスリカ属が多いのは、植物プランクトンによる一次生産が大きく池底への餌の供給量が多いことによると推測される。植生池においては、クロイトトンボ属が多いのはクロイトトンボが生息場として、植物のある池を好むことによると推測される。無2においては、ミミズ類もトンボ類も多い傾向があった。これは、無2において植物プランクトンが増殖し、一次生産が十分であったことに加え、植物の現存量の指標であるPVIも10%あり、トンボ類の生息場として、植物が十分な量であったことが原因ではないかと考えられる。

#### 4. おわりに

4つの実験池を用いて、沈水植物が池の水質および生態系にどのような影響を与えるか検討した。2つの実験池については実験前に刈取りを実施し、無植生池とし、残りの2つの実験池については、自然の沈水植物が繁茂している状態を保ち植生池とした。植物の現存量指標としては、体積占有百分率PVI (Percent Volume Infested) を用いた。3週間の比較実験により以下のようなことが分かった。

- ①多くの水質指標に関して植生池においては、無植生池と比較して、良好な水質を得られた。無植生池においては、 $PVI = 3\%$ の無1よりも $PVI = 10\%$ の無2の方が、水質が良好であるという結果が得られたが、植生池の $PVI = 38\%$ の植1と $PVI = 84\%$ の植2においてはほとんど水質に差がなかった。したがって、沈水植物の増加にしたがって水質が改善されるもののPVIで38%を超えるものについては、その後の変化は小さいと推測される。
- ②植物プランクトンは、無植生池では緑藻類が優占し、植生池では珪藻が優占した。動物プランクトンについては全体的にワムシ類が優占したが、無植生池ではワムシ類がほとんどを占めたのに対し、植生池では、カイアシ類と枝角類の比率が比較的高かった。また、動物プランクトンの変動は、植物プランクトンの変動傾向と一致し、植物プランクトンの変動にしたがって、

動物プランクトンが増減している様子が観察された。

- ③底生生物の現存量は、ミミズ類、ユスリカ類に関して、無植生池で植生池より多かった。これは、植物プランクトンによる一次生産量が十分であったためと考えられる。クロイトトンボ類に関しては植生池において、無植生池よりも多く観察された。これは、沈水植物がトンボ類の生息場として機能していることを示唆していると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 中村圭吾、天野邦彦：湖沼沿岸帯の自然再生、土木技術資料47 (9), pp.40-45, 2005.
- 2) 山室真澄、浅枝 隆：湖沼環境保全における水生植物の役割、水環境学会誌30 (4), pp.181-184, 2007.
- 3) Scheffer, M.: Ecology of shallow lakes, Chapman & Hall, 1998.
- 4) Sondergaard, M. and Moss, B.: Impact of submerged macrophytes on phytoplankton in shallow freshwater lakes. In: Jeppesen, E., Sondergaard, M., Sondergaard, M. and Christoffersen, K. (eds.), The structuring role of submerged macrophytes in lakes. Springer, New York, pp. 115-132, 1998.
- 5) Canfield D.E. et al.: Prediction of chlorophyll a concentrations in Florida lakes importance of aquatic macrophytes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 41, pp. 497-501, 1984.

中村圭吾\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境研  
究グループ河川生態チ  
ーム主任研究員, 工博  
Dr. Keigo NAKAMURA

天野邦彦\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境研  
究グループ河川生態チ  
ーム上席研究員, 工博  
Dr. Kunihiko AMANO