

(11) 湖沼沿岸域における植生遷移後の群落構造 に及ぼすヨシ植栽時の地盤高設計の影響

山崎 永文^{1*}・田中 周平²・藤井 滋穂²・
國政 瑛大¹・池田 大介¹・阿部 翔太¹・西川 博章³

¹京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

²京都大学大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

³株式会社ラーゴ (〒523-0821 滋賀県近江八幡市多賀町586-1)

* E-mail: nagafumi@eden.env.kyoto-u.ac.jp

本研究では、ヨシ植栽による沿岸水生植物群落の再生事業を定量的に評価し、ヨシの植栽地盤高の設計指針を示すことを主目的とした。2008年9月～2009年1月に琵琶湖南湖東岸の抽水植物群落を対象に小型GPSを利用した植生区分踏査、植物社会学的調査、地盤高調査を実施した結果をもとに、特にヨシ植栽時の地盤高設計に着目し、遷移後の植生構造の分析を行った。その結果、劣化したヨシ群落の沖を埋立て水平に地盤を整形したヨシ植栽地は、ヨシ単体の植生に遷移する傾向が明らかになった。一方で、消波施設を設置せず緩勾配の地盤を設計したヨシ植栽地は、多様な植物が観察され自生ヨシ群落に近い植生構造であった。これらの結果を整理し、ヨシ植栽時の適切な地盤高設計に関する新しい知見が示された。

Key Words : nature restoration, guideline for ground level design of reed plantation fields, reed plantation, growth characteristics

1. はじめに

湖沼の沿岸植生である水陸移行帯は、水域生態系と陸域生態系を中継する中間的な生態系として、さまざまな機能を持っている。中でもヨシ群落は水質浄化、護岸、生物育種の機能に特に優れており、琵琶湖は古くより広大なヨシ群落を有していた。しかし、高度成長期にかけて、沿岸域を埋立て湖岸道路等を建設したことにより、ヨシ群落の面積は260 haから128 haまで減少した¹⁾。琵琶湖総合開発を行った水資源開発公団(現在の水資源機構、以下公団)は1982年よりヨシ植栽試験を行った後にヨシ原造成事業として植栽事業を行った¹⁾。滋賀県がヨシ群落保全条例を施行した1992年以降は、淡海環境保全財団(以下財団)や滋賀県の水産課、河港課、自然保護課(現自然環境保全課)がヨシの植栽を行った。2008年までに行われたヨシ植栽面積は総計34.7 haと報告されている²⁾。しかし、植栽後、一定の植生遷移後の安定した抽水植物群落は、ヨシのみが繁茂する群落や、帰化植物が優占する群落など、本来の自然の湖岸植生からはかけ離れた植生となった例³⁾が報告されている。自然再生推進法では、事業施行後の科学的な調査と調査結

果の事業への反映が求められているが、現状では定量的な評価事例は少ない。

本研究では、琵琶湖沿岸域で実施されたヨシ植栽による沿岸水生植物群落の再生事業を定量的に評価し、ヨシの植栽地盤高の設計指針を示すことを主目的とした。すなわち、沿岸域に生育する植物種は、琵琶湖水位の影響を大きく受ける⁴⁾ことから、植栽地盤高の設計によって遷移後の群落の植物種を制御することができると考えた。そこで本研究では、本研究グループが提案した小型GPSを用いた植生調査法⁵⁾を、2008年9月～2009年1月に琵琶湖南湖東岸域のヨシ群落に適用し、群落の植生構造と地盤高分布を調査した。

2. ヨシの植栽方法と琵琶湖水位

(1) ヨシ植栽の変遷

ヨシの植栽記録として残っているものは漁業者が魚の繁殖場としてのヨシ群落を確保するための漁業目的に始めたものであり、1972年まで行われていた。植栽方法としては、自生地のヨシを掘り出しての大株苗(掘取苗)

移植工法であり、一部を除いて消波柵の設置は行わず、地盤整形も行わなかった。詳細な記録の残る1954年以降、南湖に0.3 ha、北湖に2.6 haの植栽がされたが、北湖の一部と南湖の植栽ヨシは波によって消失した。その後、公団は1982～1986年に種子起源の移植苗を用いる工法の植栽試験を行い、1985～1992年にかけて、主に木柵（一部は捨石もしくは鋼矢板を用いた）を消波施設として設置し、大株苗（実生苗）移植工法により南湖3.1 ha、北湖1.7 haの植栽を行った¹⁾。1992年に滋賀県がヨシ群落保全条例を施行してから現在に至るまでは財団、滋賀県自然保護課、水産課、河港課が計23.3 haのヨシ植栽を行った。1992、1993年は掘取苗を使用し木柵を消波とした植栽を行ったが活着率は低く、1994～1997年の間は実生苗と挿し木が主に使用された。1995年より使用されるようになった財団が開発したマット苗は、低地盤高で活着率に優れるため、1998年以降に主に使用されている。また、1998年以降は蛇籠・布団籠が整形した地盤の土留めとして使用されるようになり、波による土壌の流出が軽減された。消波施設は1998年までは一部で木柵が設置される程度であったが、1999年より、水産課による植栽地では捨石の上に消波柵が設置された⁹⁾。

(2) ヨシ植栽方法の分類

琵琶湖におけるヨシ植栽は、複数の組織によって年月とともに様々な植栽方法が用いられてきた。現在、琵琶湖南湖東岸のヨシ群落にて確認できるヨシ植栽地の植栽方法は次の3タイプであった。各植栽タイプの地盤高設計の例を図-1に示す。図中の Biwako Standard water Level（以下 B.S.L.とする）は琵琶湖標準水位を示しており、

年間を通して約1m水位が変動する傾向がうかがえる。

a) “ひたひた場”型

湖岸道路開発により傾斜が急峻になり、幅の狭くなり劣化した自生群落の沖側に土砂を投入して地盤高を B.S.L.-30 cm で水平に整形した地盤にヨシを植栽する設計。土留めと消波をかねた捨石の上に消波柵を設置している。ニゴロブナ等が産卵する5月～6月にかけて群落内の水深が10 cm になることから、“ひたひた場”と呼ばれている。琵琶湖固有の在来魚の繁殖場となるヨシ群落の造成を目的として水産課が実施した方法である。

b) “創出”型

埋立てや湖岸道路などの沿岸開発によって植生のほとんど無くなった沿岸域に土砂を投入し、群落先端の地盤高を B.S.L.-30～-50 cm 程度とした緩傾斜の地盤にヨシを植栽する設計。土留めとして布団籠を設置している他、一部に消波柵を設置している。財団の一部と、滋賀県河港課が実施した植栽方法である。

c) “補植”型

衰退したヨシ群落の沖側にヨシを補植する方法。沖域の地盤高を B.S.L.-50 cm に統一し、土留めのために布団籠を水面下に設置している。財団の一部が実施した植栽方法である。

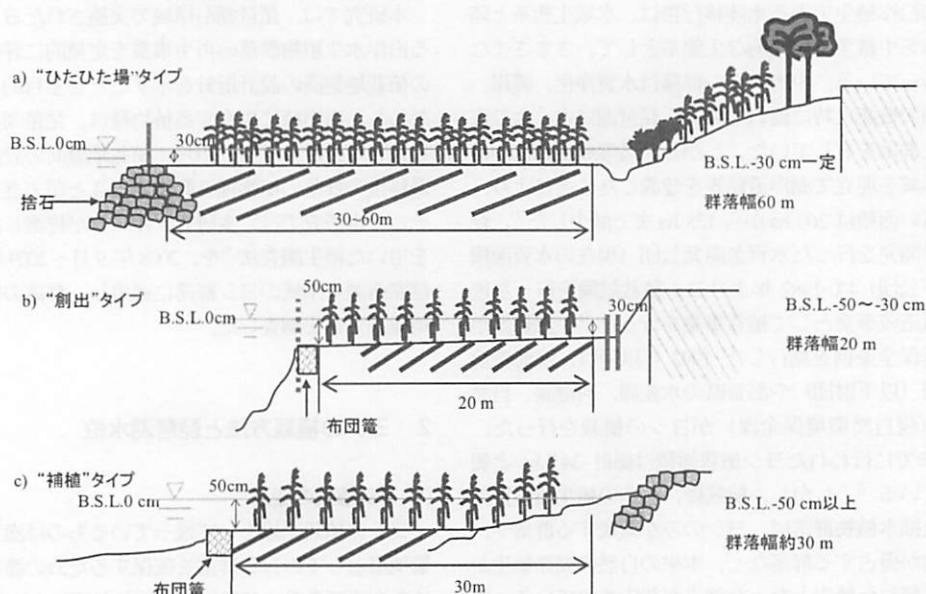


図-1 植栽タイプ別地盤高設計図例

3. 調査の方法

(1) 調査の対象

調査対象とした抽水植物群落の位置と植栽に関する情報を図-2に示す。琵琶湖南湖東岸には、琵琶湖全域の48%のヨシ群落が存在し、ヨシ植栽事業のうち85%がここで実施されている¹⁾。本研究では、琵琶湖南湖東岸の面積0.1 ha以上の31の抽水植物群落を対象に調査を行った。内訳は、自生が16群落、植栽が15群落であり、植栽群落のうち“ひたひた場”タイプが4群落、“創出”タイプが7群落、“補植”タイプが3群落、その他が1群落であった。また、消波施設がなく、植栽記録のない群落については自生群落と判断して解析を行った。

(2) 調査の方法

本研究では小型GPSを用いた植生調査によりヨシ群落の面的な植生構造を示す植生図を作成し、地盤高測量により群落の立体的な形状を求めた。

a) 小型GPSを用いた植生調査

小型GPSを用いた植生調査の概要を図-3に示す。本調査手法は植生区分踏査と植生調査の二つの調査により構成されている。植生区分踏査では調査対象群落の植生界を踏査する際に小型GPSを用いることで、植生区画の位置情報を記録した。植生調査では各植生区画の植物種、被度、群度、最長草高、植被率などを植物社会学的調査法(Braun-Blanquet法⁷⁾)に基づき調査した。なお、7段階の階級値である被度は幅を持った値であり、中央の値を被度%に置換することで各植物種が該当する区画で占め

る面積を定量的に表した。以上の調査を群落全体に対して行うことにより、群落の面的な植生構造を表す植生図を作成した。

b) 地盤高測量

小型GPSとレベル、標尺を用いて、群落の縁と内部で単点測量を行った。小型GPSで緯度、経度の位置情報を記録し、レベルで高さ情報を記録することで、抽水植物群落全体の地盤高データを得た。

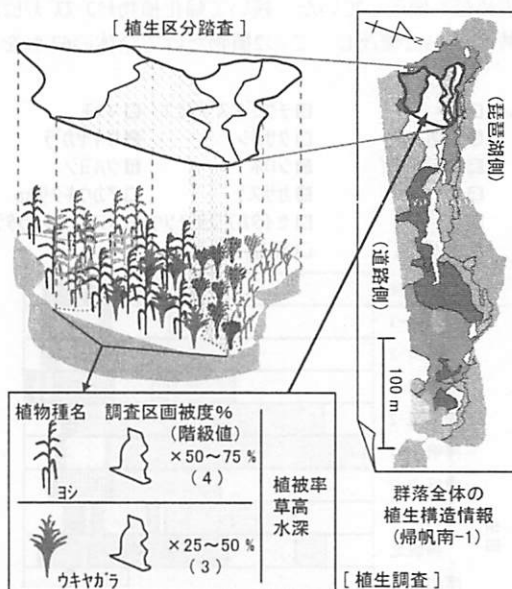
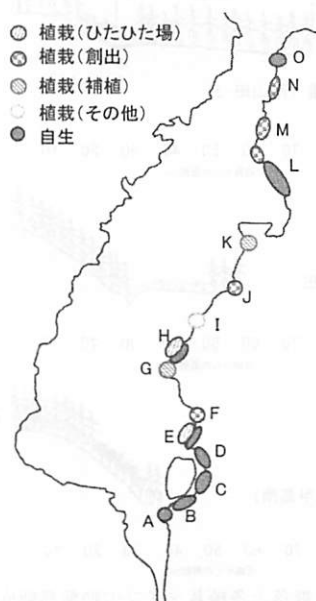


図-3 GPSを用いた植生調査方法



地区記号	地区名	群落番号	植栽タイプ	消波柵	植栽組織	植栽年度(年度)
A	新浜	1,2	(自生)	—	—	—
B	帰帆南	1,2	(自生)	—	—	—
C	帰帆中	1,2,3	(自生)	—	—	—
D	帰帆北	1	(自生)	—	—	—
E	南山田	1,3	ひたひた場	捨石	水産課	2007
		2,4	(自生)	—	—	—
F	山田	1	創出	木柵	財団	2000
G	北山田	1,2	補植	なし	財団	1994~1998
H	下笠	1,3	ひたひた場	捨石	水産課	2005
		2,4	(自生)	—	—	—
I	Biyoセンター	1	その他	鋼矢板	公団	1996
J	志那中	1	創出	木柵	不明	不明
K	烏丸半島南	1	補植	なし	財団	1995
L	赤野井	1,2,3	(自生)	—	—	—
		4	創出	木柵	財団	1999
M	木浜1	1,2	創出	布団電	河港課	2001~2004
N	木浜2	1,2	創出	布団電	河港課	2006
O	琵琶湖大橋	1	(自生)	—	—	—

全15地区・29群落

図-2 調査対象地の地図と詳細一覧

4. 植栽タイプ別の遷移後の植生構造

(1) 自生・植栽群落別の植物種構成

琵琶湖南湖東岸の29の抽水植物群落（調査総面積31.1 ha）では、119種類の植物が確認された。帰化植物はオギ、スズメノヒゲなど27種、一年生草本はアザミ、タンポポ、オシロイバナなど46種であった。琵琶湖南湖東岸全体の植物種構成と29群落別の植物種構成比を図-4に示す。確認されたヨシの面積は、全群落中49%の割合（以下被度と表記する）を占め最も繁茂していた。続いて帰化植物オギ、スズメノヒゲが被度18%と繁茂し、この2植物だけで全体の67%を占

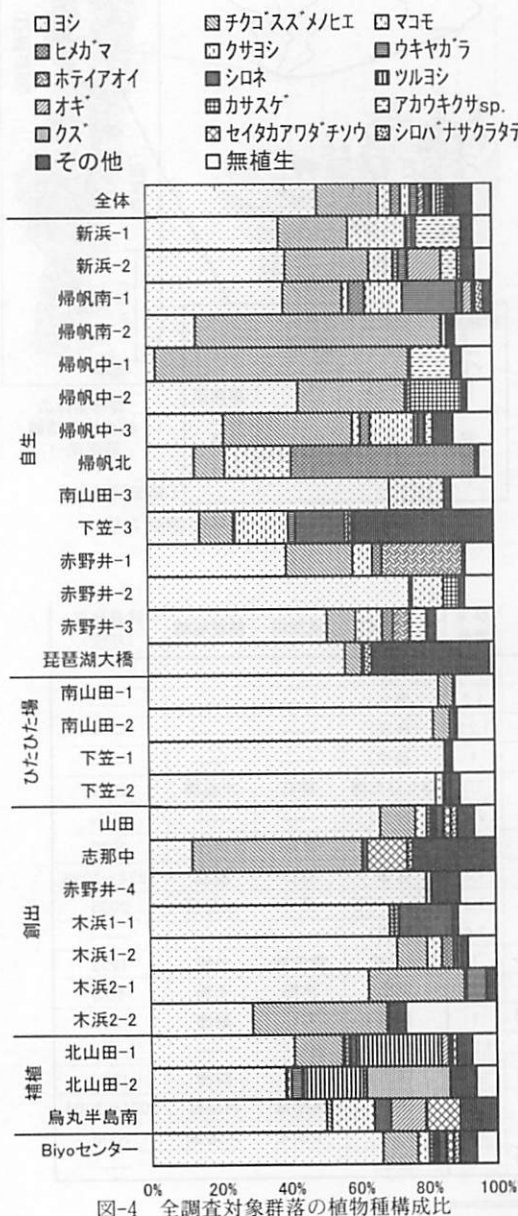


図-4 全調査対象群落の植物種構成比

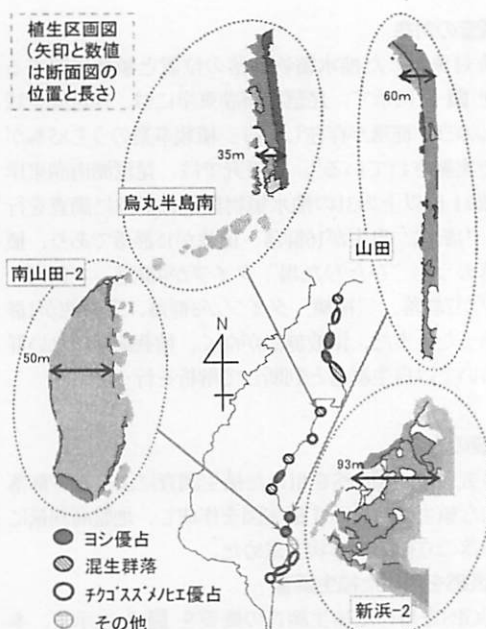


図-5 地盤高の断面図例の対象群落の位置

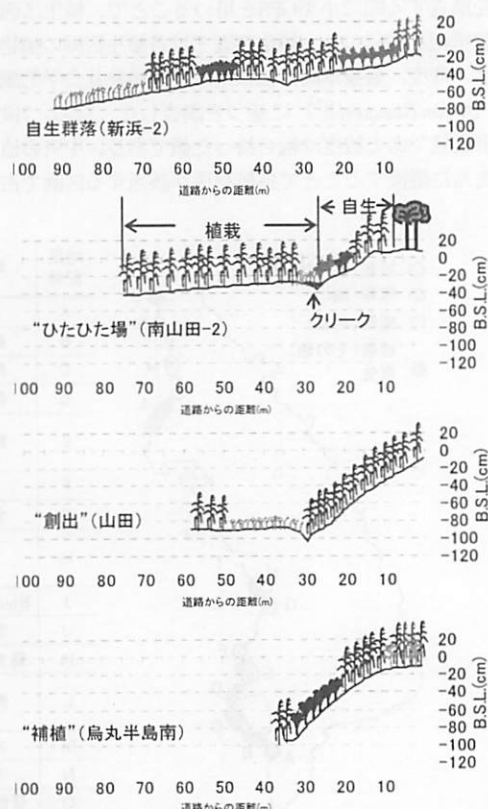


図-6 自生群落と各植栽タイプの地盤高断面図と植生構造の例

めた。続いてマヒ4 %、ヒガ73 %、クサ33 %、ササ32 %と続き、国際自然保護連合が戦略的侵入種と定めたヤブイモが全体の2 %を占めた。

(2) 自生抽水群落の植生構造

自生抽水植物群落では84種類の植物種が確認された。自生ヨシ群落の総面積は16.0 haであり、帰化植物は特定外来種のオシロイバナとミズヒメを含む17種、一年生草本はアサガサなど27種であった。各植栽タイプの地盤高断面例の位置と群落の位置を図-5に示す。新浜2地区の自生ヨシ群落の植生構造の概要を図-6に示す。本群落は幅90 mで地盤高B.S.L.-80~-20 cmの緩勾配に分布する抽水植物群落であり、ヨシが被度40 %、ササが被度10 %と繁茂していた。全17種の植物が確認され、多様性に富んだ植生構造であった。一方で、帰帆島周辺の抽水植物群落ではB.S.L.-120~-60 cmの低地盤高でササが繁茂した。帰帆島は琵琶湖に人工的に造成された島であり、その設置により水の流れが穏やかになり、周辺の抽水植物群落の沖合いに水田雑草であるササが繁茂したと考えられた。

(3) “ひたひた場”型植栽ヨシ群落の植生構造

“ひたひた場”型の植栽ヨシ群落では、40種類の植物が確認された。総面積は5.6 haであり、帰化植物はアサガサなど10種、一年生草本はオシロイバナなど17種であった。図-5、図-6の南山田2地区の植栽ヨシ群落は幅70 mでB.S.L.-45~-25 cmのほぼ水平な地盤に分布した抽水植物群落であり、ヨシが被度82 %で繁茂した。特に地盤高B.S.L.-30 cmで設計された区画では7種のみ植物種が確認された。地盤高を水平に設置することで他の植物種の侵入が困難となりヨシのみが繁茂する群落が形成されていた。また、劣化したヨシ群落と地盤高B.S.L.-30 cmに設計された“ひたひた場”の間に、水路のようなクリークが形成されていた。本クリークには泥が20 cm程度蓄積し、図-6に示すようにササが高被度で繁茂した。このように、被度80 %以上のヨシが繁茂する単一群落と、水田雑草であるササが繁茂するクリークが形成されるなど、自生群落では確認されていない新たな人工空間が形成される結果となった。

(4) “創出”型植栽ヨシ群落の植生構造

“創出”型抽水植物群落では、64種類の植物種が確認された。総面積は4.9 haであり、帰化植物は特定外来種のアサガサなど14種、一年生草本はシロバナなど24種であった。図-5、図-6の山田地区の植栽ヨシ群落は幅60 mで地盤高B.S.L.-100~-10 cmの抽水植物群落であり、ヨシが被度66.3 %、ササが被度10 %で繁茂した。特に消波堰

の内側にヨシが密生する傾向が見られた。一方で、志那中と木浜2-2の群落ではササが被度54 %、39 %で優占していた。ササは消波施設の内側や凹型地形など、水の流れが滞る区画で繁茂する傾向にあることから、“創出”型での地盤設計を行う場合には、より水循環に配慮した設計を行うことで、帰化植物ササの侵入を抑制できると判断した。

(5) “補植”型植栽ヨシ群落の植生構造

“補植”型抽水植物群落では、50種類の植物種が確認された。総面積は3.1 haであり、帰化植物はアサガサなど8種、一年生草本はシロバナなど15種であった。図-5、図-6の鳥丸南地区の自生ヨシ群落は幅35 mで地盤高B.S.L.-95~-10 cmの地盤高に分布する抽水植物群落であり、ヨシが被度56 %、マヒが被度14 %、ササが被度11 %で繁茂した。植物種構成がヨシの繁茂する自生抽水植物群落と最も類似しており、多様な植物種構成であった。

5. 植物種別の地盤高別生育特性

(1) 各植物種の生育地盤高

自生抽水植物群落とタイプ別の植栽ヨシ群落における出現植物種の地盤高分布を図-7に示す。自生群落ではヨシは地盤高B.S.L.-38 cmを中心に繁茂し、大部分がB.S.L.-63 cm~-13 cmに分布した。“ひたひた場”型では、地盤高B.S.L.-38 m~-20 cmに分布し、地盤高別の生育分布範囲は小さかった。“創出”型では、地盤高B.S.L.-57 cm~-10 cmに分布し、地盤高別の生育分布範囲がもっとも自生ヨシ群落に近似していた。“補植”型は、地盤高B.S.L.-48 cm~+2 cmに分布し、ヨシがもっとも陸側に分布した。

帰化植物ササは、自生群落では地盤高B.S.L.-65 cmを中心に繁茂し、大部分がB.S.L.-92 cm~-37 cmに分布した。特に帰帆島周辺ではB.S.L.-95 cm~-40 cmに分布し、波の影響が少ない水の流れが滞る場所では、ヨシよりも沖域で繁茂することが分かった。“ひたひた場”型では、地盤高B.S.L.-43 cm~-23 cmに分布し、地盤高別の生育分布範囲は小さかった。“創出”型では、地盤高B.S.L.-68 cm~-4 cmに分布し、地盤高別の生育分布範囲がもっとも自生ヨシ群落に近似していた。“補植”型は、地盤高B.S.L.-41 cm~+8 cmに分布し、ヨシがもっとも陸側に分布した。

その他の上位植物種では自生群落では、ササがB.S.L.-15~-30 cm、アサガサ、クサ、シロバナがB.S.L.-40~-0 cm、マヒはB.S.L.-75~-30 cm、ヒガはB.S.L.-85~-25 cmの地盤高範囲に生育しており、陸から沖にかけて徐々に遷移しながら

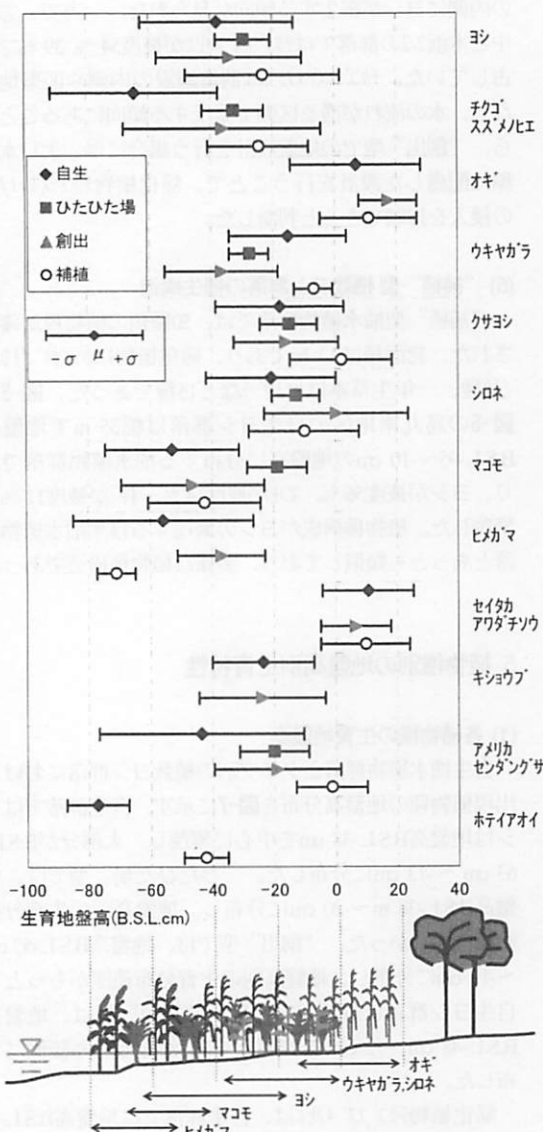


図-7 出現上位種の生育地盤高の平均と標準偏差と地盤高設計 B.S.L. -80~20cmで確認が予測される植生例

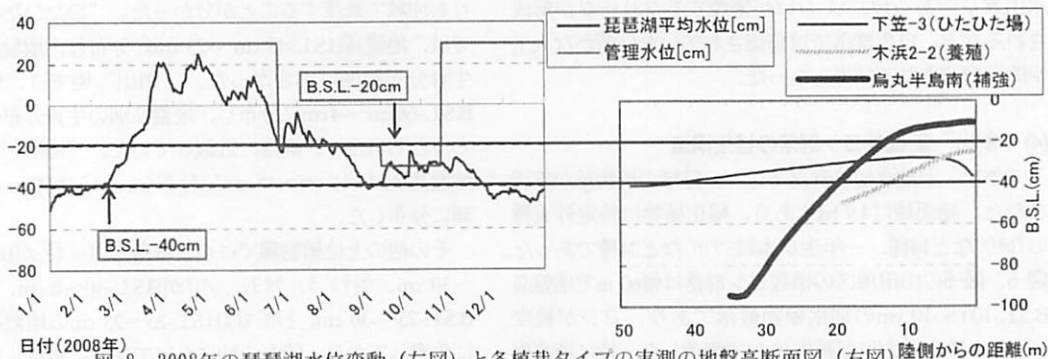


図-8 2008年の琵琶湖水位変動(左図)と各植栽タイプの実測の地盤高断面図(右図) 陸側からの距離(m)

分布していた。これらの植物種は主に自生地において同一群落中に確認されていた。そのため、地盤高設計をB.S.L.-80~20 cmとした際に共存する植物であると判断できた。植栽地盤をB.S.L.-80~20 cmに設計した時に、各地盤高で成立し得る植物種構成を図-7の下部に示す。また、上位植物種として確認された帰化植物では、セイタカアワダチソウはB.S.L.-5~25 cm、キショウブはB.S.L.-40~5 cm、アメリカセンダングサB.S.L.-75~-10 cm、ホテイアオイはB.S.L.-90~-70 cmの順に陸から沖にかけて分布していた。セイタカアワダチソウを除くこれらの帰化植物は、小さな区画に密集して確認されることが多いため、それぞれの地盤高で同じ生育特性の植物種と競合することが考えられた。また、繁殖力の高いセイタカアワダチソウは生育特性の近いオギと競合することが示唆された。

同じ植物種でも、異なる植栽方法や環境条件下では、生育分布の違いが見られた。つまり、植栽方法と地盤高設計によってヨシ植栽後の植生構造をある程度操作することができると考えられた。

(2) 植栽時と現在の地盤高の変化と各地盤高の冠水日数

各植栽タイプの群落の地盤高断面図と2008年の琵琶湖水位の年間変動の関係を 図-8に示す。琵琶湖水位は、各期間に設定している管理水位を基準に、瀬田川の洗堰で操作されている。消波施設の無い鳥丸半島南は沖側の群落端がB.S.L.-100 cmとなっており、植栽時の地盤高設計B.S.L.-50 cmよりも50 cm低下していた。一方で消波柵の設置してある木浜2-2は設計時からの変化が無く、下笠-2は群落の沖側が10 cm程度低下していた。“ひたひた場”型の群落の内部に、ニゴロブナ等が入るためには、B.S.L.-20 cm以上の琵琶湖水位が必要である。しかし、6月後半~10月前半までの4ヶ月間は管理水位がB.S.L.-30~-20 cmに低下し、水位の上昇が抑えられていた。このため、2008年にB.S.L.-20 cmを超える冠水日数は140日間であり、ニゴロブナ等が産卵する5~6月はその期間に該当するが、地盤に傾斜が無いことから年間を通すと225

日間は群落全体の水深が低く、在来魚の侵入が不可能であることがわかった。また、同年のBSL-30、-40、-50 cmにおける冠水日数は200、282、364日であった。これより年間を通して在来魚の入ることのできる群落を形成するためには、設計地盤に勾配をつけることが重要であると示唆された。また、混成群落の沖陸幅を考慮すると、具体的には幅30 m以上で地盤高の範囲をBSL-80~20 cmの植栽地盤が望ましいと考えられる。すなわち、地盤高の分布範囲を広げ、年間の低水位時でも魚類がヨシ群落内に侵入できる環境を設計することが重要であると示唆された。

6. 結論

本研究では、琵琶湖沿岸域で実施されたヨシ植栽による沿岸水生植物群落の再生事業を定量的に評価し、ヨシの植栽地盤高の設計指針を示すことを主目的とした。本研究では、2008年9月~2009年1月に琵琶湖南湖東岸の抽水植物群落を対象に植生区分踏査、植物社会学的調査、地盤高調査を実施した結果をもとに、特にヨシ植栽時の地盤高設計に着目し、遷移後の植生構造の分析を行った。その結果、次の新しい知見が得られた。

- 1) 劣化したヨシ群落の沖を埋立て水平に地盤を設計した抽水植物群落では、ヨシ以外の植物が観察されず、ヨシ単体の植生に遷移していることが明らかになった。
- 2) 消波施設を設置せず、地盤に傾斜をつけた地盤を設計したヨシ群落では、多様な植物が観察されるなど自生ヨシ群落に近い植生構造が形成されていた。
- 3) 各植物種が生育する地盤高を用いて、生育特性の分析を行った結果、幅の広い植栽地盤に傾斜をつけての地盤高範囲を広く設計することで、異なる生育特性を持つ植物種が多く生育する多様な植生の群落が形成されることがわかった。

- 4) それぞれの地盤高に適した生育特性を持つ帰化植物が存在していた。そのため、設計した地盤高範囲に含まれる帰化植物も群落に侵入すると考えられるが、帰化植物と同一の地盤高特性を持つ植物種との競合の際に影響する環境要因を分析することで、帰化植物の侵入を抑制できると考えられた。

今後は土壌の粒度分布や含有栄養塩と植生の関係を解析し、植栽ヨシ群落の地盤高設計指針に土壌の栄養条件を加えることで、より多様な植生のヨシ群落の設計指針を明らかとする予定である。

謝辞：本研究では（財）琵琶湖・淀川水質保全機構、（財）水資源機構の援助を受け、（有）淡水技研、京都大学流域圏総合環境質研究センターの方々の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 水資源開発公団：淡海よ永遠に 琵琶湖開発事業誌、第V編、pp.290-306, 1993
- 2) 滋賀県自然環境保全課：ヨシ群落現存状況調査資料、2008
- 3) 滋賀県：第25回滋賀県ヨシ群落保全審議会 議事録、2008
- 4) 阿部翔太、田中周平、藤井滋穂、山田淳、西村想、西川博章：湖沼沿岸植生帯の植生遷移に及ぼす琵琶湖水位の影響に関する長期モニタリング、環境技術、Vol. 44, pp. 140-142, 2007.
- 5) 国政英大、田中周平、藤井滋穂、阿部翔太、西川博章：単独測位携帯型GPSを用いた琵琶湖沿岸水生植物群落の定量的調査手法の検討、環境衛生工学研究、Vol. 22, No.3, pp. 96-99, 2008.
- 6) 淡海環境保全財団：琵琶湖のヨシ再生に向けた植栽条件に係る調査研究 報告書、pp.34-35, 2002.
- 7) Brauer-Blanquet, J. Grundlagen und Methoden des biologischen Wasserbaus, Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstrassen, pp. 17-78, 1965.

d(2009.5.22 受付)

**Effects of Ground Level Design of Reed Plantation Fields on
Succession of Botanical Communities after Reed Plantation at Lake Shore.
Nagafumi YAMAZAKI¹, Shuhei TANAKA², Shigeo FUJII²,
Akihiro KUNIMASA¹, Daisuke IKEDA¹, Shota ABE¹,
and Hiroaki NISHIKAWA³**

¹Dept. of Urban and Environmental Engineering, Kyoto University

²Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

³Lago Corporation

This study aims at evaluating some restoration projects of aquatic plant community on lake shore, and making a suitable guideline for ground level design of reed plantation fields. Three kinds of surveys were carried out on southern east shore of Lake Biwa from September 2008 to January 2009; such as routing survey upon a boundary between botanical portions, vegetation survey based on phytosociology technique, and ground level measurement. Relationships between ground levels and succession of botanical communities after reed plantation were analyzed. The main conclusions are as follows: 1) Reed tended to be dominant and the other plants were declined in reed plantation fields that designed on the ground level (B.S.L. -30 cm) with no slope. 2) Reed plantation communities that designed with gentle slopes without wave absorbing facilities tended to be similar vegetation of natural reed communities after succession. 3) Vegetation was different on several ground levels of Lake Biwa shore. 4) Two important factors (slope length and ground level) were suggested for ground level design of reed plantation fields.