

(49)

琵琶湖周辺ヨシ群落調査によるヨシの生育環境条件の検討

Evaluation of Influence Factors on Reed Growth by Survey on Reed Communities around Lake Biwa

田中周平*、藤井滋穂**、山田淳***、尾藤武****

Shuhei TANAKA*, Shigeo FUJII**, Kiyoshi YAMADA***, Takeshi BITO****

ABSTRACT: Most of reed communities around Lake Biwa are still under difficult conditions to grow without proper maintenance. Various studies have been conducted on the reed communities, but a few studies targeted the relation between geological conditions and reed growth. The objective of this paper is to evaluate the influence factors on reed growth. Reed communities around Lake Biwa were investigated on August 2001 and the following results were drawn: 1) Average density of reed shoots was 52 shoots/m², average reed height was 201cm, average diameter of reeds was 6.0mm on Lake Biwa shore. 2) Average density of reed shoots was high on the ground between higher than -70cm and lower than -30cm of the Lake Biwa standard water level (B.S.L.). On the ground lower than B.S.L.-100cm and higher than -20cm, average density of reed shoots was low. 3) Organic matter contents in soil on natural reed communities were lower than ones of reed plantation fields. 4) Analysis of variance between reed growth indices and geological indices showed that a coefficient of uniformity and contents of total phosphorus in soil on reed community have an influence on the reed growth.

KEYWORDS: Reed, Coefficient of uniformity, Phosphorus contents, Organic matter contents, Lake Biwa

1. はじめに

琵琶湖沿岸に広がるヨシ群落は、古来から万葉和歌に詠まれるなど、人々の心を和ます風景を生み出してきた。しかし、湖周道路の建設などにより、琵琶湖岸のヨシ群落面積は1964～1977年にかけて約244haから約130haにほぼ半減した¹⁾。滋賀県は1992～2001年度に計30haのヨシ群落拡大を目的とする「ヨシ群落保全基本計画」を立て、沿岸域での工事の規制、ヨシ植栽事業、その他の啓蒙活動などを開始した^{2,3)}が、ヨシの人工植栽は当初考えていた以上に困難であり、ヨシの拡大面積は2000年度末の時点で約12haに留まっている⁴⁾。これらのヨシ植栽の失敗原因としては、波浪による浸食や他の植物種の侵入などが挙げられ⁵⁾、このことはヨシの繁茂する生育環境に関する知見の不足が問題点であるといえる。そこで本研究では、琵琶湖周辺の自生、植栽ヨシ群落において、生育調査、地質調査などを実施し地質条件とヨシの生育状況との関係を検討した。

2. 調査の方法

調査地の選定では、まず、琵琶湖周辺における過去のヨシ植栽に関する情報^{4,5,6,7,8)}を収集し、本格的なヨシ植栽が始まった1992年以降のヨシ植栽事例を整理した。ついて①植栽後の経過年が3年以上で②自生群落が付近に存在の選定方針のもとで調査地を絞り込み、2001年7月5日、10日に予備調査を行い、最終的に5地区を選定した。調査概要を表1に、調査地区を図1に示す。調査地区は南湖東岸に3ヶ所、北湖東岸に1ヶ所、北湖西岸に1ヶ所であり、南に位置する地区からA～Eの略称を付けた。そして、各地区を代表するラインとして、湖岸に垂直な調査測線をA地区に4ヶ所、B～E地区に各3ヶ所の計16ヶ所に設置した。測線

* 立命館大学大学院理工学研究科 (Graduate School of science and engineering, Ritsumeikan Univ.)

** 京都大学大学院工学研究科(Graduate School of engineering, Kyoto Univ.)

*** 立命館大学理工学部環境システム工学科(Dept. of Environmental System Engineering, Ritsumeikan Univ.)

**** 東レエンジニアリング (株) アセスメント部(Dept. of Assessment, Toray Engineering Co., Ltd)

表1 調査概要

地区名*	測線	地点詳細	分類**	消波施設	コドラート数***	底質調査地点
南山田 (A)	A-1	駐車場南	自生	無	15(10)	3
	A-2	山寺川南	植栽	無	18(11)	3
	A-3	伯母川北	自生	無	16(10)	4
	A-4	矢橋帰帆島北	自生	無	15(9)	3
北山田 (B)	B-1	草津川南	自生	無	19(17)	3
	B-2	駐車場北	植栽	無	20(16)	3
	B-3	駐車場北	植栽	無	18(6)	3
守山市木浜 (C)	C-1	木浜	植栽	無	14(3)	3
	C-2	木浜	植栽	有	15(5)	3
	C-3	木浜	自生	無	19(11)	3
近江八幡 (D)	D-1	長命寺橋南	自生	無	10(7)	3
	D-2	牧南津田	植栽	有	16(6)	3
	D-3	牧地先	植栽	有	18(11)	3
今津 (E)	E-1	今津町桂	自生	有	8(7)	3
	E-2	今津町桂	植栽	有	8(8)	3
	E-3	今津町桂	植栽	有	6(5)	4

*A～Eは図1に対応

**ヨシ植栽区域のコドラート数が全体の半数以上を占める測線を“植栽”と分類

*** ()内はヨシ存在コドラート数

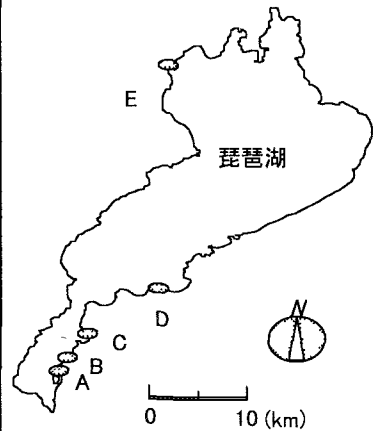


図1 調査地区

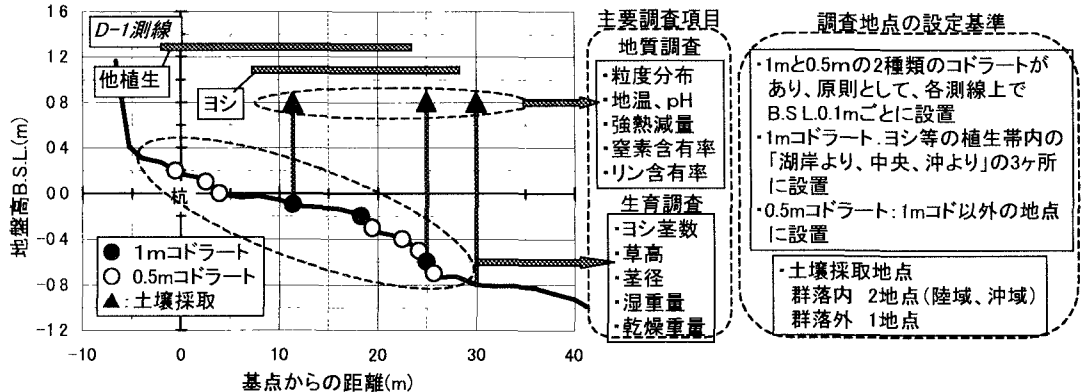


図2 調査コドラート、土壌採取場所の設定基準と調査項目

の設置では、生育環境条件の違いを比較するために、自生ヨシ群落 (7 測線)、植栽ヨシ群落 (9 測線) の違い、消波施設の有無 (有 6 測線、無 10 測線) など を考慮した。そして、8 月 8 日～10 日に地盤高測量を実施し、8 月 20 日, 21 日, 24 日, 30 日, 9 月 4 日に本調査を実施した (表 2)。コドラートの設置箇所、土壌採取箇所の決定基準を D-1 測線の結果を例として図 2 に示す。本調査では、各測線の琵琶湖標準水位 (B.S.L.) を基準とする地盤高 0.1m ごとにコドラートを設置し、コドラート内のヨシの茎個体数、草高 (最高点高さ)、茎径 (地上高 50cm の位置、草高 50cm 以下は草高の 1/2 の高さの位置)、湿重量、乾燥重量を測定した。加えて、各測線につき 3 ケ所 (陸域、沖域、群落外部) (A-4 と E-3 測線は 4 ケ所) の地表下 50cm 付近の土壌を試料として持ち帰り、地質の分析を行った。分析項目は地温、含水率、pH、強熱減量、窒素含有率、リン含有率、硫化物、酸化還元電位、IL/N 比、粒度分布 (粗砂以上、細砂分、細砂以上、シルト以下、中心粒径、60% 粒径、30% 粒径、10% 粒径、均等係

表2 調査の日程

調査日	琵琶湖水位 (B.S.L.cm)	調査	調査地区・測線
2001年 8/20	-56	生育	D・E地区 (D-1除く)
		地質	D・E地区
	-57	生育	B・C地区
		地質	A-4、C地区
8/24	-13	生育	A地区
		地質	A・B地区 (A-4除く)
9/4	-26	生育	D-1

表3 ヨシ生育調査結果

	コドラート数		平均茎個体 数密度 (本/m ²)	平均草高 (cm)	平均茎径 (mm)	湿重量(g)		乾燥重量(g)	
	設置総 数	ヨシ存在 地点数				1m ² あたり	1本 あたり	1m ² あたり	1本 あたり
A地区	64	40	953	49.2	204.4	4.7	1,250	26.1	645
B地区	57	39	666	47.9	233.1	7.4	2,076	41.5	743
C地区	48	19	856	67.2	182.7	6.4	1,522	21.0	732
D地区	44	24	466	42.2	179.7	5.9	1,049	26.3	459
E地区	22	20	659	56.2	200.5	5.8	1,440	27.3	736
全地区	235	142	3,600	51.6	200.6	6.0	1,506	29.9	665

数、曲率係数)であり、検体数は50である。

3. 調査の結果

3.1 ヨシの生育状況

ヨシの生育調査結果を表3に示す。設置コドラート数は235、そのうちヨシが存在したコドラート数は142、ヨシの総数は3,600本であった。ヨシ形状の平均値は、茎個体数密度が52本/m²、草高が201cm、茎径が6.0mm、1本あたりの湿重量29.9g、1本あたりの乾燥重量12.7gであった。なお、茎密度は、ヨシが存在したコドラートのみを対象に計算した。地区別では、C地区で平均茎密度が67本/m²と高いが、ヨシ1本あたりの重量は5地区中最小であった。草高、茎径はB地区で高く、1本あたりの乾燥重量はB地区、E地区で高かった。

測線別のヨシ生育調査結果を図3に示す。平均茎密度はC-2測線で85本/m²と高く、D-2、B-3測線で20、29本/m²と低い結果となった。D-2測線は消波施設に囲まれ下層をチクゴスズメノヒエが覆っており、B-3測線は波浪により大きく浸食された群落であった。平均草高は自生群落であるD-1、A-4測線で260、245cmと高く、植栽群落であるD-2、D-3測線で121、146cmと低い結果となった。平均茎径はA-2測線で3.2mmと小さいが、他測線では4.7~7.4mmであった。ヨシの含水率は測線平均で43~75%であり、乾燥重量は1本あたりで6.8~17.6g、1m²あたりで126~1257gであり、さまざまな形状のヨシが存在した。A-4、B-1、C-3、D-1測線は美しい自生ヨシ群落であると現地調査より判断できた。これら4測線の平均茎密度は51本/m²、平均草高は228cm、平均茎径は6.7mm、平均含水率63%、平均乾燥重量は12.6g/本、662g/m²であり、草高、茎径、含水率が平均より大きな結果を示した。

地盤高別のヨシ生育調査結果を図4に示す。地盤高B.S.L.-90cm、-70cm~-30cmにおいて、茎密度が平均値を上回った。一方、B.S.L.-100cm以深では深くなるにつれ茎密度が減少し、ヨシが生育するには厳しい条件であった。また、B.S.L.20cm以上の地盤高においても茎密度は疎であった。ヨシは抽水植物であり、冠水する立地を好む傾向が現れたと考えられる。平均草高(茎

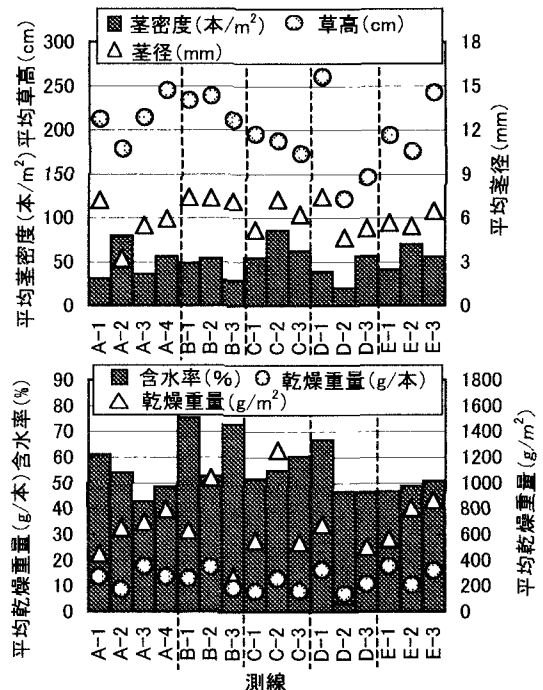


図3 測線別のヨシ生育状況

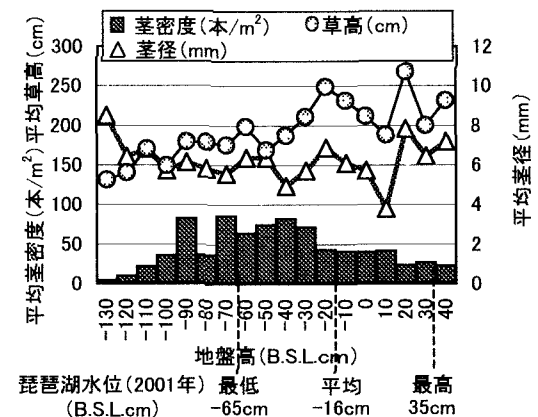


図4 地盤高別のヨシ生育状況

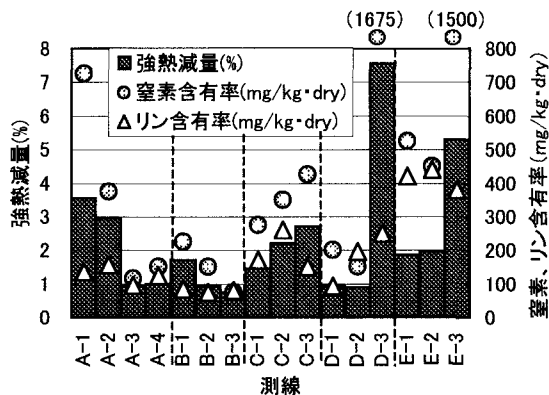


図5 測線別のヨシ群落内の地質条件

径)はB.S.L.-100cm以深では150cm (5.9mm)、B.S.L.-90～-30cmでは188cm (5.8mm)、B.S.L.-20cm以高では233cm (6.4mm)となり、陸域ほど平均草高が高かった。

3.2 ヨシ群落内の地質成分と粒度分布

ヨシ群落内陸域、沖域の地質成分の平均値を測線別に図5に示す。土壌の強熱減量は平均が2.3%で、最高がD-3測線の7.6%であった。窒素含有率は平均が460mg/kg·dryであり、D-3、E-3測線で1675、1500mg/kg·dryと高く、A-3～B-3測線およびD-1、D-2測線では75～225 mg/kg·dryと低かった。リン含有率は平均が194mg/kg·dryであり、地区別では、E地区で平均413mg/kg·dryと高く、A、B地区で75～155mg/kg·dryと低かった。

測線別の均等係数と粒度構成比を図6に示す。均等係数は粒径加積曲線の傾度を表す指標であり、大きくなるほど粒度分布が広いことを示す。A-2測線で78と大きく、A-3～B-3測線およびD-1測線では2～5と小さい。粒度分布では、B-2、B-3測線で粗砂以上が多く、D-1、C-3測線で細砂分が多かった。B-2、B-3測線は湖岸の凹み部分に位置し、D-1測線は河口部、C-3測線は半島先端部に位置することから、群落の形成位置により粒度分布に差が生じる傾向が読み取れた。

ヨシ群落内(陸域、沖域)、群落外部別の土壌特性を図7に示す。群落内土壌の粒径は、55%以上が粗砂以上であり、群落外部に比べて粗かった。均等係数は群落外部で高く、ヨシ群落内では外部に比べ土壌の粒径が整っていた。地質成分では、強熱減量、窒素含有率が群落内沖域で低く、リン含有率にあまり差はなかった。

自生・植栽ヨシ群落別および消波施設の有無別の群落内土壌特性を図8に示す。自生群落の平均土壌粒径は細砂分が44%であり、植栽群落より17%高い。自生群落の平均地質成分は、強熱減量1.8%、窒素含有率338mg/kg·dry、リン含有率158mg/kg·dryであり、植栽群落に比べて低濃度であ

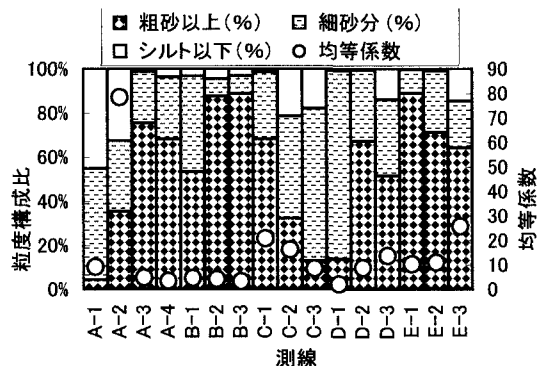


図6 測線別の土壌の均等係数および粒度構成比

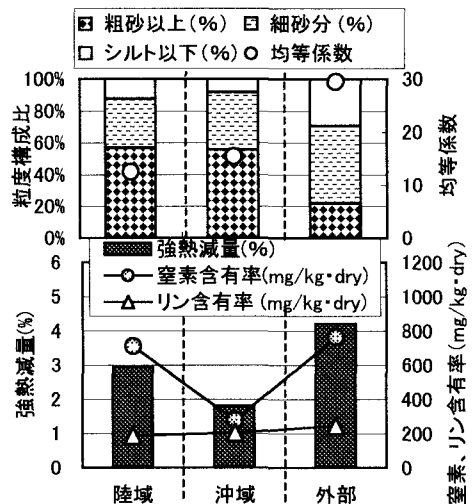


図7 ヨシ群落陸域、沖域および群落外部の土壌特性

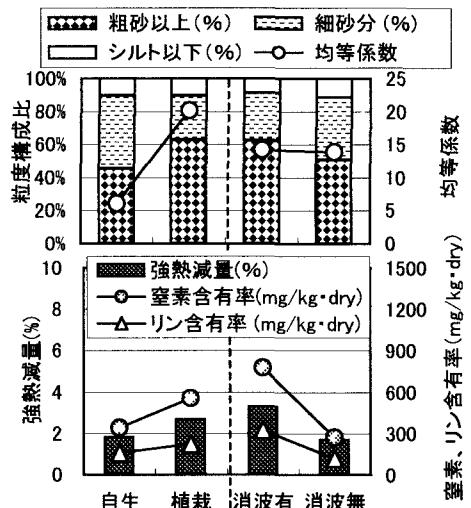


図8 自生・植栽群落別および消波施設有無別の土壌特性

表4 1元配置分散分析による地質条件がヨシの生育に及ぼす影響の検定結果

地質	ヨシ生育	平均茎 個体数 密度	平均 草高	平均 茎径	湿重 量(g/ 本)	乾燥 重量 (g/本)
粗砂以上(%)	**					
細砂分(%)				*		
細砂以上(%)						
シルト以下(%)						*
中心粒径(mm)						
60%粒径(mm)						
30%粒径(mm)						
10%粒径(mm)						
均等係数	***	***	**	**	**	***
曲率係数	**					
地温(°C)						
含水率(%)	*					
pH						
強熱減量(%)						
窒素含有率(mg/kg.dry)						
リン含有率(mg/kg.dry)		*	**	**	**	
硫化物(mg/g.dry)						
酸化還元電位(ORP)		**				
IL/N比						

*** 1%有意
* 10%有意

った。一方、消波施設が設置されたヨシ群落の平均地質成分は、強熱減量3.3%、窒素含有率775mg/kg・dry、リン含有率324mg/kg・dryであり、消波施設なしの群落に比べて高濃度であった。

4. ヨシ群落内の地質成分および粒度分布とヨシ生育との関係

4.1 1元配置分散分析によるヨシ生育と地質環境との関係の検定

本調査では、各測線ごとに3~4ヶ所ずつ土壌採取を行っており、各測線とも内2ヶ所はヨシ群落内に位置する。そこで、全16測線×2ヶ所の計32地点の地質データとヨシの生育指標との関係を、1元配置分散分析により検定した。なお、地質データ間の順位相関を調べた結果、土壌粒度に関する指標間では0.80を超える相関が見られたが、地質指標間では、窒素含有率と強熱減量の相関が0.86と高かった他は、0.70を超える相関は見られなかった。1元配置分散分析では、平均茎個体数密度、平均草高、平均茎径、1m²あたりのヨシ湿重量、乾燥重量、ヨシ1本あたりの湿重量、乾燥重量を目的変数とし、各32データを大小順に並び替え1水準8データの計4水準に分けて解析した。検定結果を表4に示す。1m²あたりのヨシ湿重量、乾燥重量では、すべての要因で棄却された。表より、平均茎個体数密度に対しては、粒径区分の粗砂以上(%)が5%有意、10%粒径が10%有意、均等係数が1%有意、曲率係数が5%有意を示した。また、土壌の含水率も10%有意を示した。土壌の粒径がヨシの密度に寄与する傾向を示した。平均草高に対しては、均等係数(1%有意)、リン含有率(10%有意)、酸化還元電位(5%有意)の3要因の寄与が示された。平均茎径には、均等係数(5%有意)、リン含有率(5%有意)に加えて、細砂分(%)にも10%有意が認められた。ヨシ1本あたりの湿重量には、均等係数、リン含有率が5%有意を示し、乾燥重量に対しては、シルト以下(%)が10%有意を、均等係数が1%有意を示した。草高、茎径などの形状と同様に、1本あたりの重量に関しても、均等係数が有意な関係を示した。

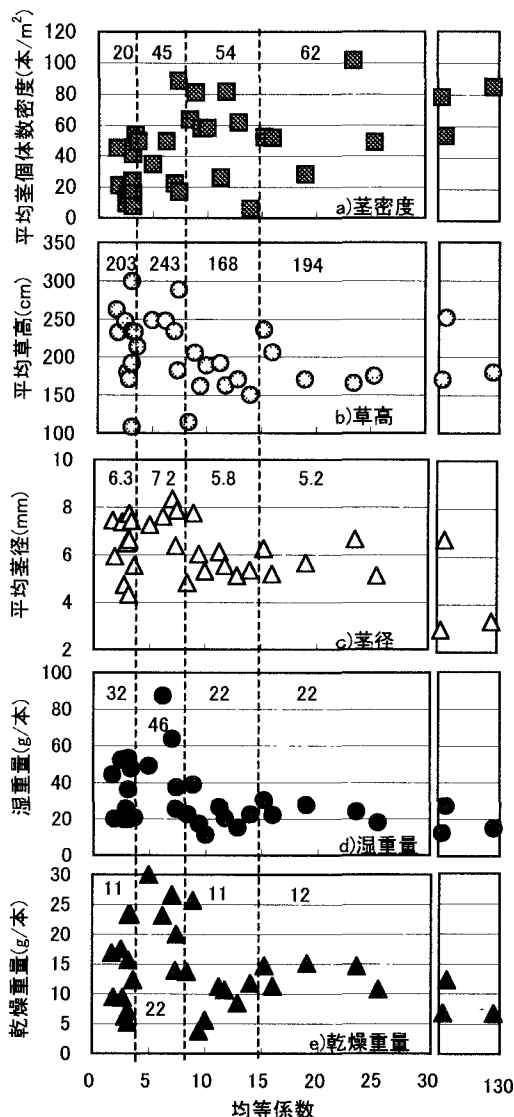


図9 ヨシの生育指標と均等係数との関係

4. 2 ヨシ生育と地質環境との関係の検討

前節において、ヨシ生育に影響を及ぼす地質指標が示された。本節では、分散分析により有意な関係が示された均等係数、リン含有率などの指標別に、ヨシの生育指標との関係を詳細に検討する。

4. 2. 1 均等係数

分散分析において有意な関係を示したヨシの生育指標と均等係数との関係を図9に示す。なお、図中の点線は4水準の境界を示し、数字は水準内の平均値を示す。均等係数 1.7～3.2 における平均茎個体数密度は、20 本/㎡と小さく、以降 3.2～7.4 で 45 本/㎡、8.4～14.0 で 54 本/㎡、15.3～120.4 で 62 本/㎡と均等係数が増すにつれて平均茎密度も大きくなった。一方、平均草高、平均茎径では、均等係数 1.7～3.2 において 203cm (6.3mm)、以降、3.2～7.4 で 243cm (7.2mm)、8.4～14.0 で 168cm (5.8mm)、15.3～120.4 で 194cm (5.2mm) となり、両指標とも、均等係数 3.2～7.4 で大きな値となった。1 本あたりの湿重量、乾燥重量でも、同様の傾向を示し、均等係数 1.7～3.2 において 32g (11g)、3.2～7.4 で 46g (22g)、均 8.4～14.0 で 22g (11g)、15.3～120.4 で 22g (12g) となった。以上より、均等係数 3.2～7.4 の粒度分布の土壤でヨシ茎の形状および重量が最大となり、粒度分布が揃いすぎることとは、茎密度に負の影響を与える傾向が示された。

4. 2. 2 リン含有率

分散分析において有意な関係を示したヨシの生育指標とリン含有率との関係を図10に示す。リン含有率 50～100mg/kg/dry における平均ヨシ草高は 237cm と高く、以降、リン含有率 (mg/kg/dry) 110～140 で 189cm、150～260 で 178cm、260～470 で 204cm であった。平均茎径では、リン含有率 (mg/kg/dry) 50～100 で 7.2mm、110～140 で 5.4mm、150～260 で 5.7mm、260～470 で 6.1mm であった。1 本あたりの湿重量では、リン含有率 (mg/kg/dry) 50～100 で 47g、110～140 で 23g、150～260 で 27g、260～470 で 24g であった。以上より、リン含有率濃度 50～100 (mg/kg/dry) の土壤においてヨシ茎の形状および湿重量が最大となる結果が示された。

4. 2. 3 均等係数およびリン含有率の複合影響

均等係数とヨシ茎径の関係をリン含有率別に図11に示す。図より、リン含有率の低い土壤では粒径の均等係数も低い傾向にあることが分かる。均等係数 5.0 以下では、リン含有率 50～100mg/kg/dry における平均茎径が 7.2mm であるのに対して、リン含有率 110～140mg/kg/dry における平均茎径が 5.5mm であった。以上より、均等係数およびリン含有率が小さい土壤では、茎径の太いヨシが生育する傾向が示された。

4. 2. 4 その他

分散分析において有意な関係を示した粗砂以上 (%)、10% 粒径、曲率係数、含水率と平均茎個体数密度との関係を図12に示す。a) より、粗砂以上が 2～22% で平均茎密度が 37 本/㎡と低く、粗砂以上が 24～58% で 68 本/㎡、63～83% で 47 本/㎡、83～96% で 29 本/㎡となった。ヨシの生育と土壤との関係の研究では、桜井ら³⁾が、粗砂以上の粒径の土壤では、活着率および茎個体数が減少すると報告している。本調査においても、

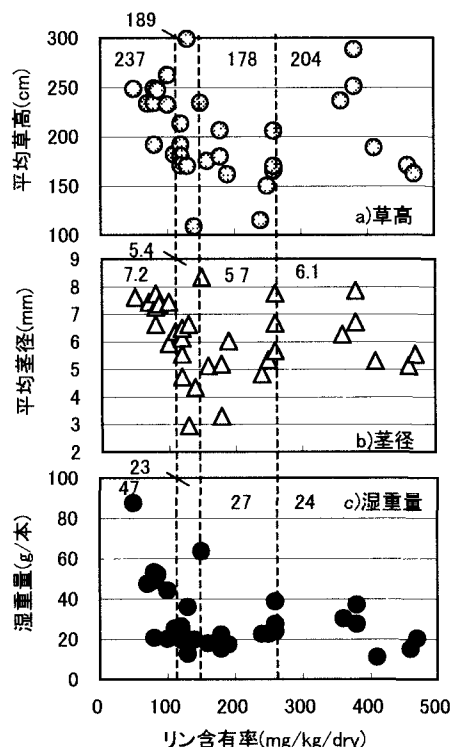


図10 ヨシの生育指標と土壤のリン含有率との関係

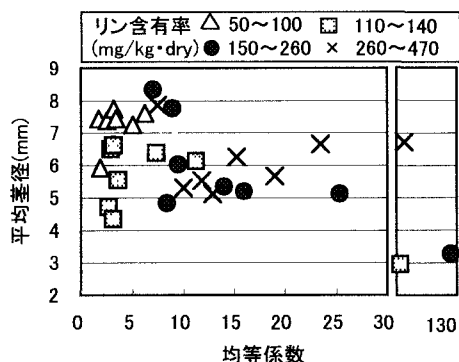


図11 均等係数とヨシ茎径との関係 (リン含有率別)

粗砂以上の割合が83~96%で、平均茎密度が29本/m²と低い値となった。b)10%粒径では、10%粒径が0.003~0.02mmで平均茎密度が57本/m²、0.03~0.17mmで45本/m²、0.17~0.30mmで56本/m²、0.32~0.98mmで24本/m²となった。c)曲率係数では、曲率係数が0.70~0.96で平均茎密度が28本/m²、0.98~1.32で35本/m²と低かった。また、d)土壌の含水率では、含水率が26~53%で平均茎密度が33本/m²と低かった。以上より、0.30mm以下の細かな粒径が少ない土壌はヨシの生育に好ましくない結果となった。

5. 結論

本研究では、琵琶湖周辺のヨシ群落においてヨシ生育調査および地質調査を行い、群落内外の地質条件とヨシ生育との関係を検討した。本研究で得られた主な知見を以下に記す。

- ① ヨシ形状の平均値は、茎個体数密度が52本/m²、草高が201cm、茎径が6.0mm、1本あたりの湿重量29.9g、乾燥重量12.7gであった。ヨシ群落内の平均粒度分布は、粗砂以上55%、細砂分35%、シルト以下10%、平均地質成分は、強熱減量0.8~7.6%、窒素含有率80~1675mg/kg/dry、リン含有率75~440mg/kg/dryであった。
- ② 地盤高B.S.L.-90cm、-70cm~-30cmにおいて、茎密度が平均値を上回った。一方、B.S.L.-100cm以深、B.S.L.20cm以上の地盤高での茎密度は疎であった。
- ③ 自生群落内の土壌は植栽群落に比べて細砂分が多く、強熱減量、窒素・リン含有率が低かった。
- ④ 消波施設が設置されたヨシ群落では、消波施設なしの群落に比べて地質成分が高濃度であった。
- ⑤ 地質成分および土壌粒径に関する19指標とヨシの生育に関連する7指標との関係を1元配置分散分析により検討した結果、均等係数および土壌のリン含有率などがヨシの生育に有意な関係を示した。

以上の結果より、ヨシの生育には土壌の均等係数、リン含有率が大きく寄与していることが分かり、均等係数3.2~7.4、リン含有率50~100mg/kg/dryの土壌では、平均値を上回る形状のヨシが生育する傾向にあることが分かった。今後のヨシ植栽では、以上の結果を逸脱しない範囲での基盤整備が必要であると考えられる。なお、これらの知見は、2001年8月に実施した調査結果をもとに導かれたものであり、ヨシの生育と環境条件との関係の解明のためには、さらなるデータの拡充が必要であると考えられる。

本研究の一部は淡海環境保全財団の援助を受けた。また、調査・実験に際して、岩田政志氏、釜谷学氏（以上東レエンジ(株)）、馬場大哉氏（東レテクノ(株)）、武藤淳氏、山中正宏氏（以上(株)応用地学研究所）、松本宏之氏、澤本直樹氏、六代桂氏（以上立命館大学）他多数の方々の補助を得た。各位に対しここに心から感謝いたします。

参考文献 1)滋賀県(1994):環境白書,p.56-64. 2)沢野邦三(1992):ヨシ群落の保全・ゴミ対策でやさしい琵琶湖を,地方政治,vol.386,p.17-21. 3)小谷博哉(1993):琵琶湖のヨシ群落保全条例,環境と公害,vol.22,No.4,p.49-50. 4)滋賀県自然保護課(2001):ヨシ群落造成事業の実績と評価,調査報告書 5)滋賀県(1992):ヨシ群落現存量等把握,調査報告書 6)淡海環境保全財団(1994):ヨシ成長量モニタリング調査,調査報告書 7)淡海環境保全財団(2000):南湖のヨシ群落衰退の現状とその原因について,調査報告書 8)淡海環境保全財団(1998):ヨシ群落衰退地域の原因調査研究会中間報告,調査報告書 9)桜井善雄、渡辺義人、村沢久美子、滝沢ちやき(1986):湖沼沿岸帯における抽水植物の立地条件,日本陸水学甲信越支部会報, No.11,p.138-139.

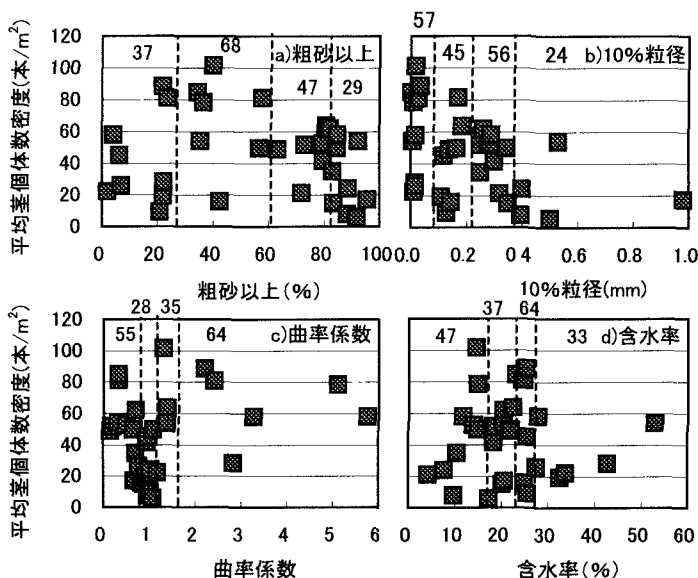


図12 平均茎個体数密度と地質条件との関係