

琵琶湖におけるヨシ群落に関する研究

— ヨシ群落内の物理・化学・生態的性状 —

鈴木紀雄・川嶋宗継・遠藤修一・板倉安正・木村保弘

Study on the Reed Community at Lake Biwa

— Physical, Chemical and Ecological Characteristics in the Reed Community —

Norio SUZUKI, Munetsugu KAWASHIMA, Shuichi ENDOH,
Yasumasa ITAKURA and Yasuhiro KIMURA

Abstract

The physical, chemical and ecological survey at the reed community of southwest of the south basin of Lake Biwa was carried out in 1991 and carried out at various regions around Lake Biwa in 1992.

Horizontal distribution of water quality and electric conductivity in the reed community showed special pattern with going from shore to offshore. It was certified that horizontal distribution of electric conductivity responded the concentration of ion. It was found that water in the reed community was moved out with a water current from south to north. Production rate and respiration rate of periphyton on surface of a reed shoot were respectively $0.17 \text{ O}_2\text{g/m}^2\text{/day}$ and $0.47 \text{ O}_2\text{g/m}^2\text{/day}$.

Density of reed was higher in reed community showing a patched distribution than in the normal reed community. The strength of reed shoot was weaker in the reed community growing in water region than that growing on land, and it showed a negative correlation with the water depth and a concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$.

At the place where an inclination of lake bottom is larger than 3 degree, a patched distribution of reed was frequently found. It was considered that there are a higher concentration of fuming acid inside of the reed community. It was also discussed about cause to rise a patched distribution of the reed community from a physical factors such as wind and geographical features point of view.

はじめに

湖沼沿岸帯は湖沼生態系の中でもっとも重要な位置を占めている。中でも、湖辺に生育する水生植物群落はこの生態的構造と関連してさまざまな機能を果たしている。例えば、そこでは

多種多様な動植物の生息場所となっているため、魚類の餌が多く、魚類などの産卵場所、仔稚魚の生育場所としても好適な環境となっている。さらに、多種多様な生物の生息場となっていることと相まって、有機物の分解、栄養塩類の吸収、有害物質の除去など水質浄化に寄与する能

力も大きい。また、水草地帯は物理的な要因による波浪の抑制や水生植物の根茎などによる湖辺の侵食防止の機能も有する。その上、水辺林や抽水植物群落などは湖辺の自然景観の形成に役立ち、そこに住む鳥の声をきいたり、鳥の姿をみる事が出来るなど人間の憩いの場や自然の触れあいの場所としても重要な意義をもっている。こういった多様な機能をもつ自然環境は湖の他の場所にはなく、その意味で湖辺の水生植物群落は湖の中では最も重要な場所だといえる(鈴木・桜井・沖野 1989)。

本研究では、1991年には主として、これらヨシ群落の機能を明らかにするための基礎として、琵琶湖南湖西岸のヨシ群落において(1)物理的要因として、水深、水温、電気伝導度、群落内外の水交換の状況等、(2)化学的要因として、pH、アルカリ度、化学成分の濃度分布等、(3)生態的要因として、ヨシなどの密度、付着生物の生産・分解量等を調べた。

ところで、わが国の湖沼沿岸帯は環境庁の調査でも明らかにされているように自然湖辺は減少の方向にある(環境庁 1980)。琵琶湖でも湖岸道路や湖岸堤の建設、なぎさ公園の造成などに伴い、湖辺の浚渫や埋め立てなどが行われ、ヨシ群落の減少を招いた。例えば、内湖を除いた琵琶湖のヨシ群落の植生面積は1953年は琵琶湖全域で約260haであったのが、1977年には約130haとなり、1990年には約120ha(推定)と半減した(滋賀県 1991)。

さらに、最近、琵琶湖湖辺の改変を免れて残ったヨシの中で株立ち現象が起こり、株立ちしたヨシが点状に分布するなど群落の衰退を招いている。したがって、ヨシ群落保全のためには、株立ちが起こり、ヨシ群落が衰退する原因そのものを明らかにする必要がある。株立ちの起こる原因はまだ十分に解明されていないが、ドイツのハーフェル湖では水中の無機態窒素が多くなると、ヨシ茎の木部繊維が弱くなり、それが原因でモーターボートによる波浪やゴミの影響を受けて、ヨシの茎が折れやすくなる事が知られている(Sukopp 1989)。これもヨシの株立ちの起こる原因の一つに数えられている。

1992年は主としてヨシの株立ち現象の原因を明らかにするための基礎的調査として、琵琶湖

周辺のいくつかのヨシ群落において、ヨシ茎の強度と化学的要因として水質、物理的要因として波浪、生物的要因としてヨシの密度や水深などとの関係などを調べた。

本研究を進めるにあたって協力をいただいた本学部の大学院学生、坂田昌、倉田真子、福田康二、小西吉治郎、小森琢、渡邊美和と学部学生、仲谷文貴、草野寛子、沖野宏文、三嶋和哉、砂田佳子、浅田堅之、中山聖子、永田大樹、服部達明、外村浩二、福田晶弘の各氏に感謝致します。

なお、この研究は文部省特定研究「びわ湖沿岸帯における浄化機能に関する研究」および、文部省重点研究「水草地帯の保全と再生に関する研究」(代表桜井善雄)の一部および、文部省特別事業費「水体における物質循環と気候」(代表手塚泰彦)の一部によって行ったものである。

調査方法

1991年は主として琵琶湖南湖西岸の雄琴付近のヨシ群落内における調査を行った。調査地点は図1に示される南湖西岸に位置する北雄琴付近である。

この地点は南湖の中でも豊富なヨシ群落で南湖西岸ではもっともヨシ群落が発達している場所である(ヨシ群落面積は約3.6ha)。

1991年の主な調査は7月22日と23日および8月31日・9月1日におこなった(ただし、湖況の観測と水質調査はこれ以外に1992年6月14日にも行った)。7月22・23日は琵琶湖の水位が高く(水位+27~28cm)、ヨシ群落の岸辺近くまで水がきいていたが、他の日は南湖は水位は相当低下し、ヨシ群落の岸側は干上がっていた。

7月22日・23日の調査では、ヨシ群落の横幅のほぼ中央にあたる湖辺から沖に向かって、直角方向に5mの間隔をおいて定点を設定した。岸から60m(s.t.12)まではヨシは密集状態にあったが、岸から80m(s.t.16)の地点より沖側ではヨシはまばらな状態であった。ここにおけるヨシ群落の状況は写真1に示す通りである。

ヨシ群落内における調査は水深の深いところでは手漕ぎボートで、水深の浅いところでは胴長をはいてヨシをかきわけて入りながら行った。

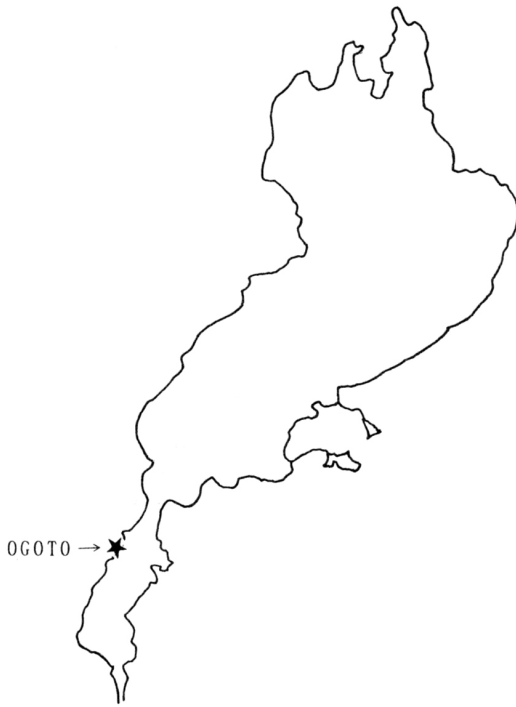


Fig. 1-1 The location of the reed community where physical, chemical and ecological survey was carried out in 1991

物理的調査は7月の22日15:00~15:39と翌日10:30~10:56の2回、各定点において水温と電導度(E C)を水温電導度計(東亜電波製)を用いて調べた。さらに、このヨシ群落周辺における水面の温度分布の時間的変化を赤外線リモートセンシングを用いて調べた。これを基にして湖水の動きの時間変化を知り、これからヨシ群落内の水交換の様子を推定した。淡水湖では水の密度は温度のみの関数で表されるので、湖水の水平的な動きを知る上で、温度分布の測定は有力である(遠藤修一ら 1984)。

直接水面に接触することなしに、しかも、広

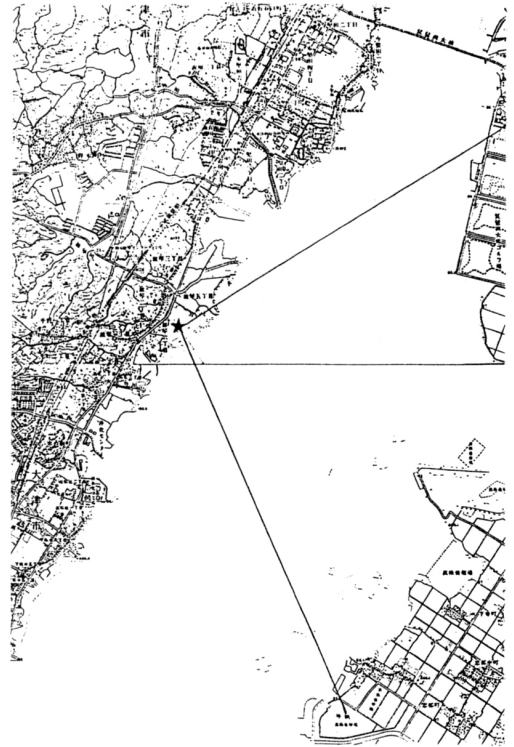


Fig. 1-2 Observing field of view

範囲に水面の温度分布を同時に測定するための方法としては赤外線リモートセンシングが使われるが、これには(1)人工衛星を用いる方法、(2)飛行機や気球を用いる方法、(3)近くの山や建造物の上から観測する方法があり、それぞれ長所と短所をもっている(板倉安正 1987、板倉安正ら 1988a, b)。ここでは、近くの建造物の上から連続観測する方法を採用した。しかし、今回の観測を行った北雄琴湖辺のヨシ群落付近は、観測角が 70° を越えるため、定量的な水面温度の推定は困難であったので、観測水域の相対的な温度比較を主とする定性的な分析にとどめた。

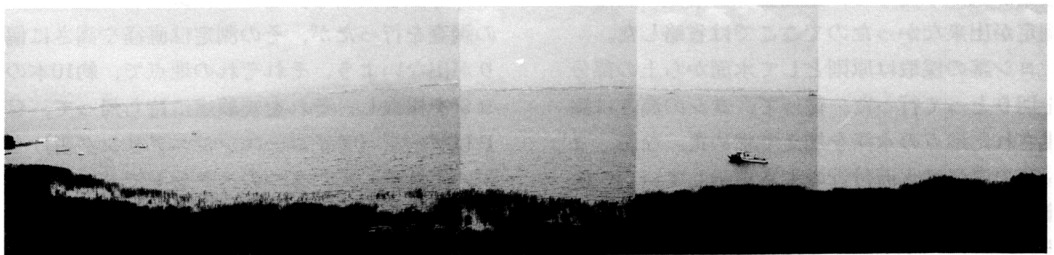


Photo.1 Observation field of the reed community at Ogoto

なお、赤外線撮像装置はヨシ群落湖辺のすぐ近くにあるアクティブインのホテルの一室に設置して計測した。

化学的分析のための水採集は7月22日に行ない、実験室に持ち帰って分析した。分析項目はアルカリ度(Alk)、ナトリウムイオン(Na^+)、カリウムイオン(K^+)、マグネシウムイオン(Mg^{2+})、カルシウムイオン(Ca^{2+})、塩化物イオン(Cl^-)、硫酸イオン(SO_4^{2-})、アンモニウムイオン(NH_4^+)、硝酸イオン(NO_3^-)、尿素態窒素(Urea-N)、溶存有機態窒素(DON)、溶存態全窒素(DTN)、溶存反応性リン(SRP)、溶存有機態リン(DOP)、全リン(T-P)、懸濁物質(SS)、灼熱減量(I.L.)、懸濁態のアルミニウム(P-Al)、ケイ素(P-Si)、リン(P-P)、イオウ(P-S)、カリウム(P-K)、カルシウム(P-Ca)、チタン(P-Ti)、鉄(P-Fe)およびマンガン(P-Mn)である。

ヨシ群落内の生態調査としての湖水の溶存酸素量(DO)はセントラル科学社製の溶存酸素計(UV1500)を用いて現場で測定した。クロロフィルa量の測定は西条(1975)の方法に準じて行った。ただし、クロロフィル抽出は90%アルコールを用いた点が異なる。

この付近のヨシ群落内には主としてヨシ(*Phragmites communis*)、ウキヤガラ(*Scirpus fluviatilis*)、マコモ(*Zizania latifolis*)などが生育していた。これらの水生植物の密度、高さ、太さの測定を行い、さらにヨシの茎につく付着生物の生産量と分解量の測定を明暗ビン法で行った。

水面から5cm下の茎(5cm)を切り取り、これを酸素ビン中にそのまま入れたものと、付着生物を取り除いた茎を入れたものとの差から、付着生物群集の生産量と分解量を測定した。ヨシ群落内の岸辺側では分解量が大きく、水中の酸素が低かったため、生産量・分解量は正確な測定が出来なかったためここでは省略した。

ヨシ茎の採取は原則として水面から上の部分を切りとって行った。従って、ヨシの高さは採集された地点の水深を加えて求めた。なお、ヨシ茎の直径は水面付近の太さを示している。密度は50cm x 50cmのコドラートを用いて採集し、その本数から1 m^2 あたりに換算して求めた。ヨシの高さと茎直径はコドラート内で採集された

植物の全数を測定して、それを平均した。

次年度の1992年には、主として琵琶湖各地におけるヨシ群落について調査を行った(図2)。調査日は8月20日、8月23・24日、9月12・13日、9月26日および10月11・12日である。ただし、水の分析は9月12日と10月11日・12日のみについて行った。

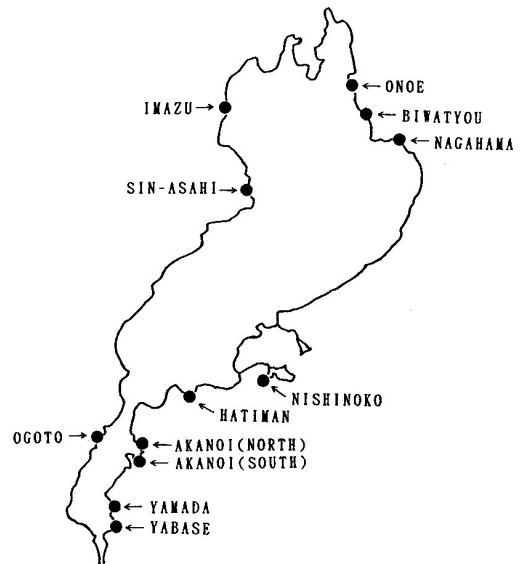


Fig. 2 Map of locations where the survey of the reed community was carried out

各調査地点では、ヨシ群落内とその外側の適当な地点をいくつか選んで、1991年とほぼ同じような方法で水の採取とヨシの採集を行った。ただし、ヨシの高さ・太さはコドラート内の中からランダムに約10本を選んで計測した点が1991年の方法と異なる。この年にはヨシの茎の強度の調査を行ったが、その測定は直径や高さに偏りが出ないように、それぞれの地点で、約10本のヨシを採取し、それを実験室に持ち帰って、CPUゲージ(アイコーエンジニアリング製)を用いて計測した。2つのスタンドでヨシ茎の節と節を固定し、ゲージを用いて茎を引っ張り、茎が切断される時の重さを計測し、これをここでは茎の強度とした。この強度は茎の長さに依

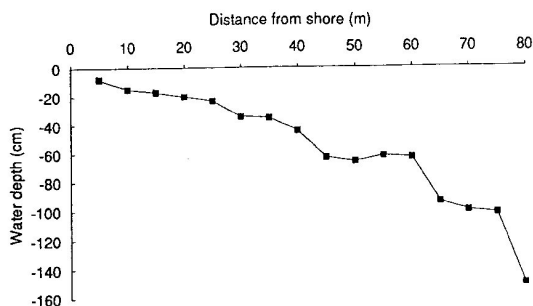


Fig. 3 Bottom topography on the transect off Ogoto

存するので、求めた数値から茎1 mあたりになるよう換算した。なお、茎の強度は水面近くの茎の部分測定したものである。

水質分析のための採水はヨシ群落内と群落外のいくつかの地点で行い、それをポリ容器に入れて、実験室で先に示した分析項目について分析した。各地点で採取したところにおけるヨシの状況を記録するために、写真撮影や群落内の底質、ヨシの奥行き、付近の水生植物の種類、茎につく大型付着藻類の有無、ヨシの株立ちの有無などについても参考に調べた。

結果と考察

図3は水深の分布を示したものである。豊富なヨシ群落は岸から約60 mまでの水深60 cm以浅の水域に存在していた。岸からの距離が50 mから60 mの地点ではヘドロの堆積が顕著であった。

図4にヨシ群落内の水温の水平分布を示した。7月21日・22日ともに、水温は岸近くと沖合において高温で、中間域では相対的に低温となっていた。岸近くの高温部は水深が浅いために温まりやすいといういわゆる地形性貯熱効果であると考えられるが、中間部の低温域は、ヨシの群生によって水面に対する日射が遮られるために生じたものと思われる。

赤外線リモートセンシングによる水面の温度

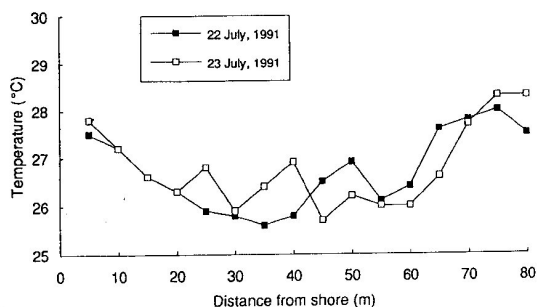


Fig. 4 Water temperature distributions on the transect off Ogoto

分布の時間的変化を調べるため、1991年は7月22日11:20~20:30までの約9時間、8月31日は15:00より9月1日11:00までの約20時間計測を行った。この間、天候はいずれも晴れであった。

図5には7月22日の15:15~16:30までの1時間15分の温度パターンの変化図を示した。

この結果から、(1)湖水はこの時間の間、南から北へ動いている、(2)その動きは16:06より西から東への時計回りの湖流が起こっている、(3)これらの動きに伴い、ヨシ群落内の水も引きずられるように動いているらしいということが確認された。

図6には8月31日は17:00から18:45までの1時間45分間の温度パターンの変化図を示した。このことから(1)静振とみられる南北の動きが認められる、(2)この動きに伴い、ヨシ群落内の水も引きずられるように動いているらしいことが確認された。ただし、今回の温度パターンの変化は観測場所のアクティバインのホテルから見た結果に基づいており、南湖全体の動きとは別である。

1992年は6月14日10:00~16:00までの約6時間の間、15分間隔で写真の記録とビデオによる集中記録を行った。天候は観測期間中、晴れたり曇ったりで、風は比較的穏やかであった。

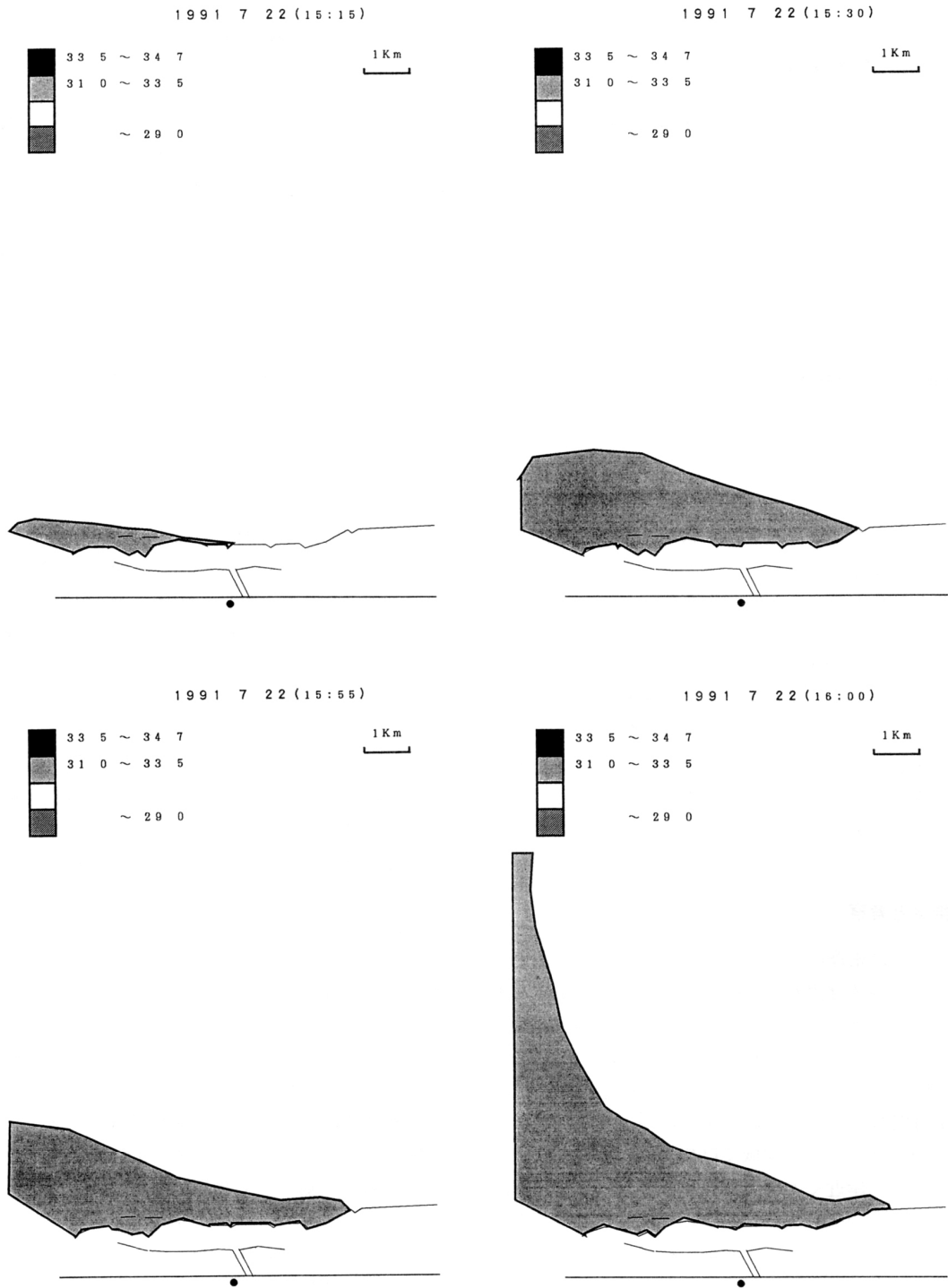
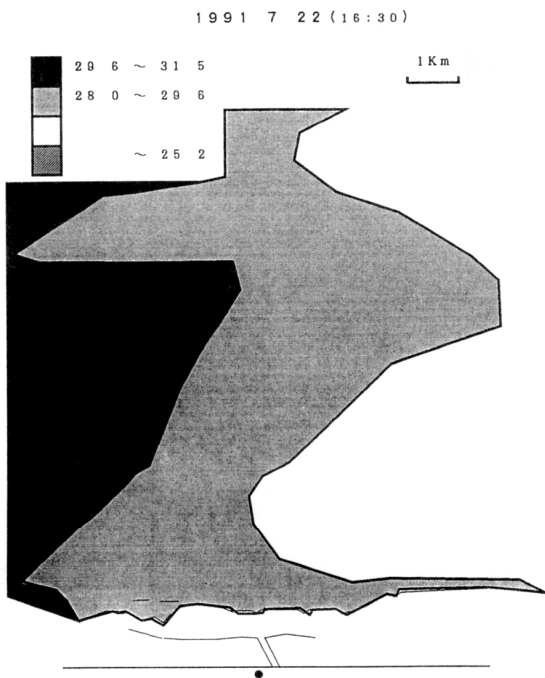
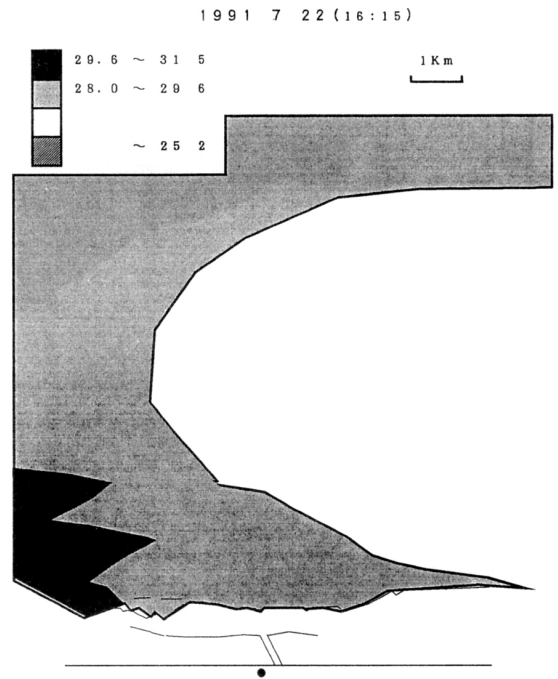
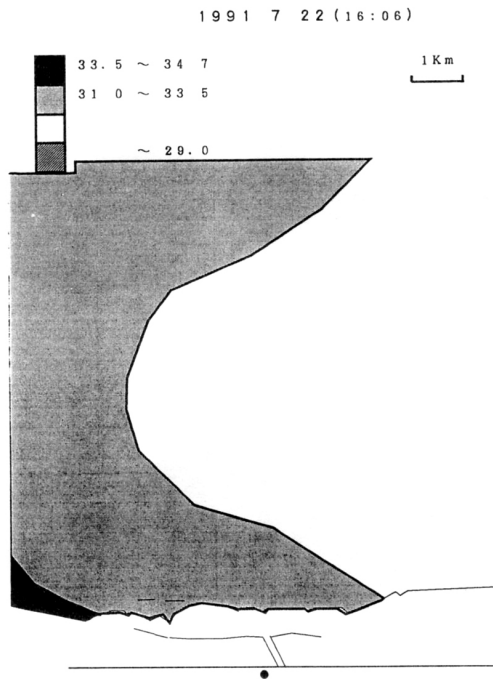


Fig. 5 Temporal changes of the surface temperature pattern at Ogoto from 15:15 to 16:30 July 22, 1991



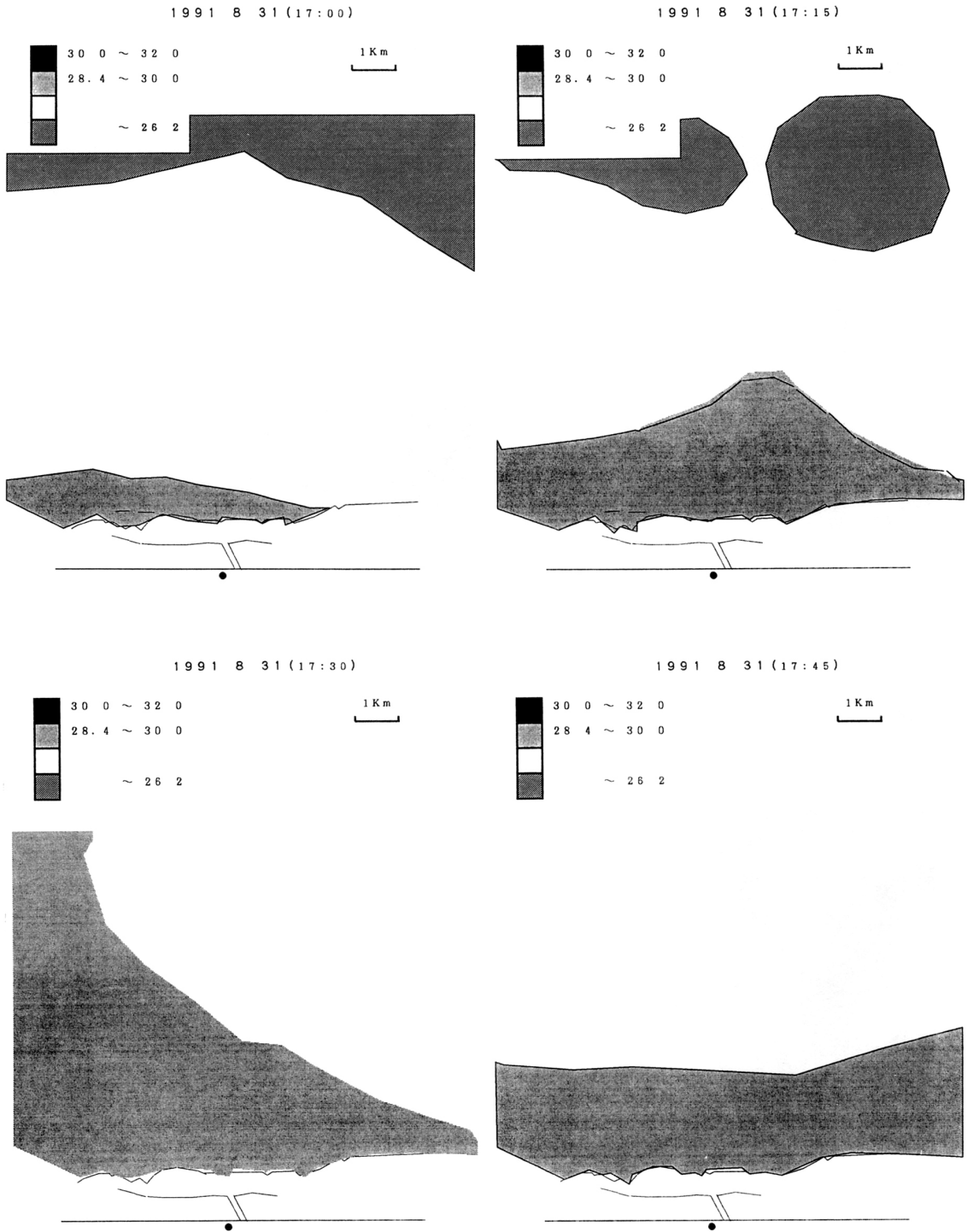
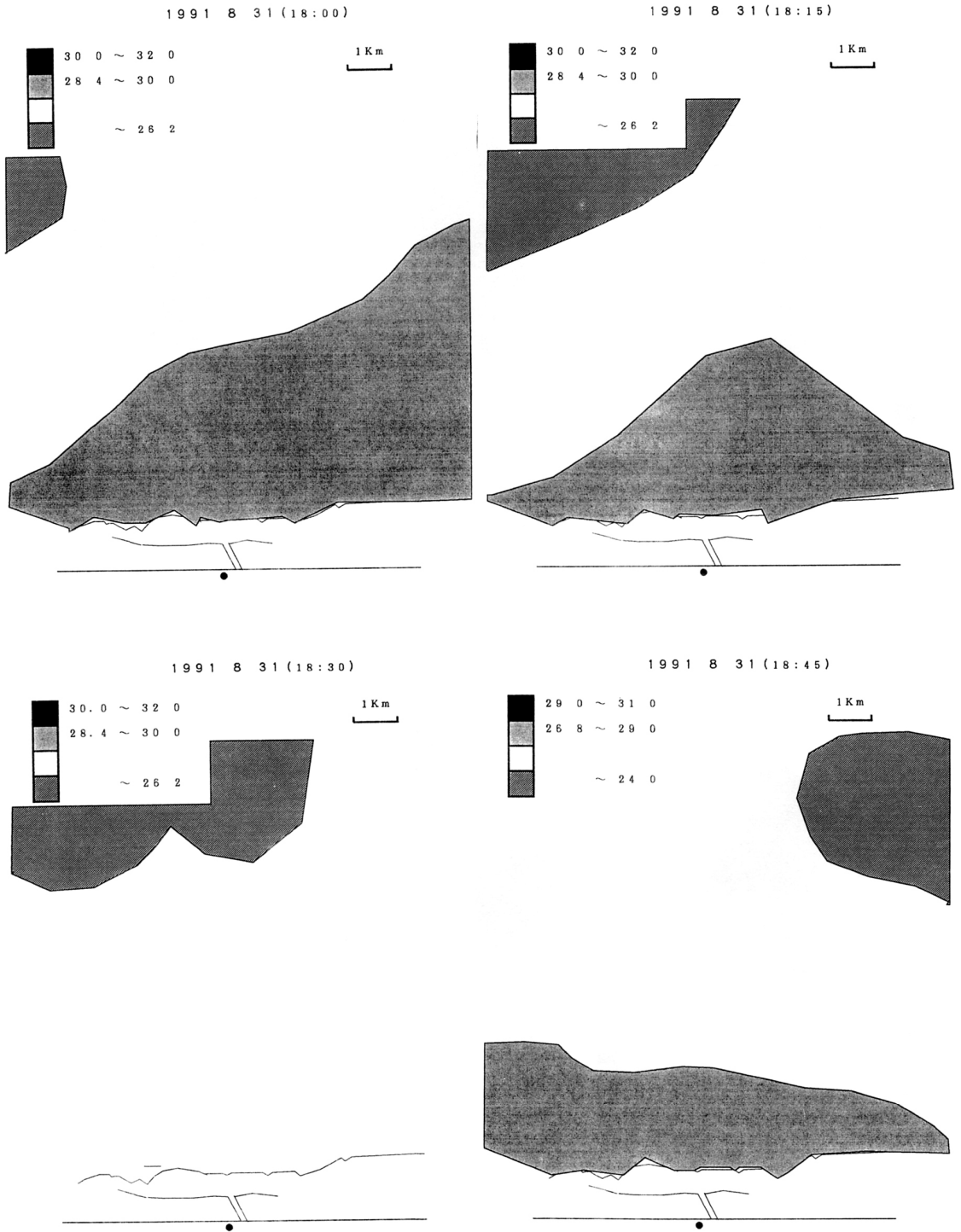


Fig. 6 Temporal changes of the surface temperature pattern at Ogoto from 17:00 to 18:45 August 31, 1991



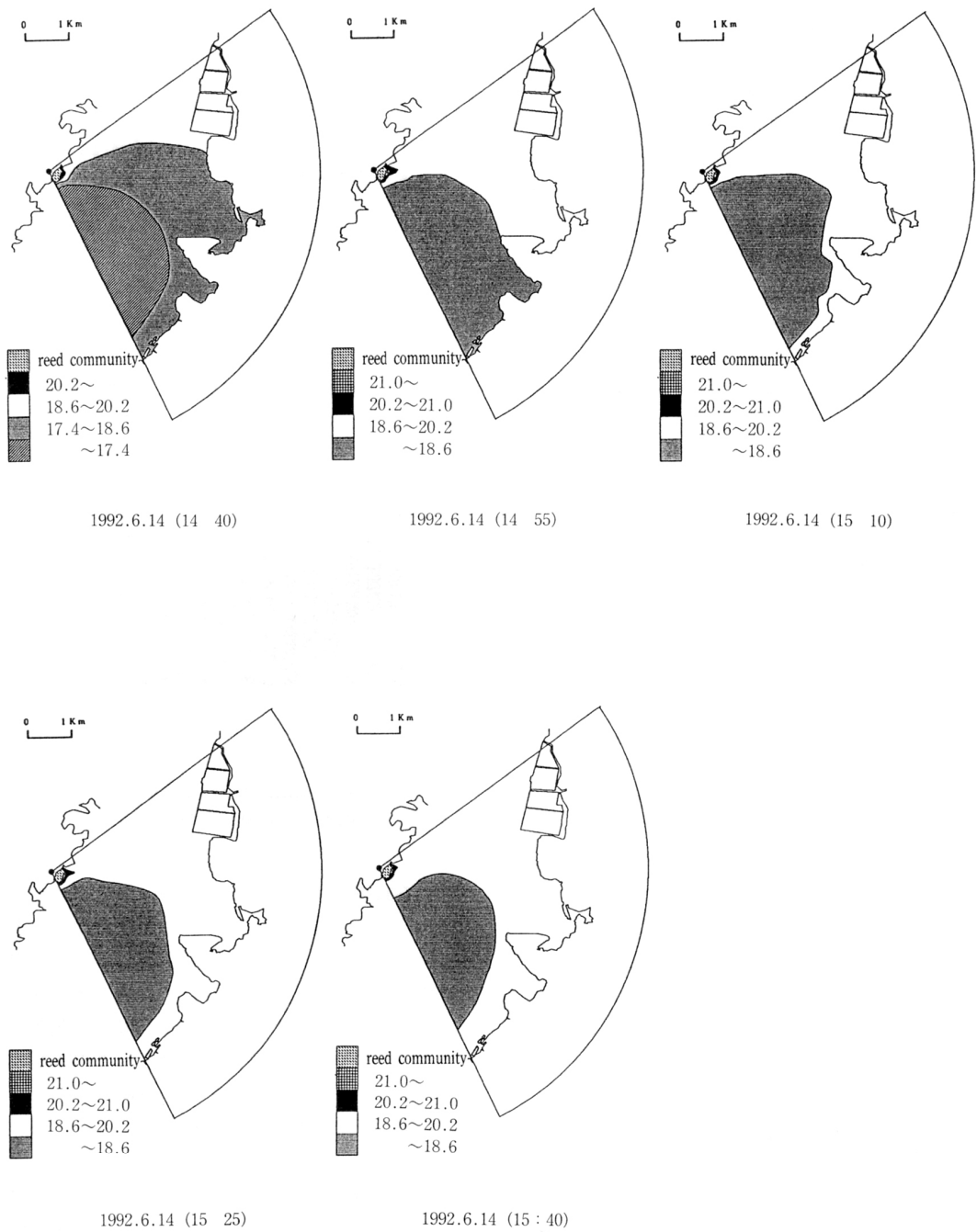


Fig. 8 Temporal changes of the surface temperature pattern at Ogoto from 14:40 to 15:40 June 14, 1992

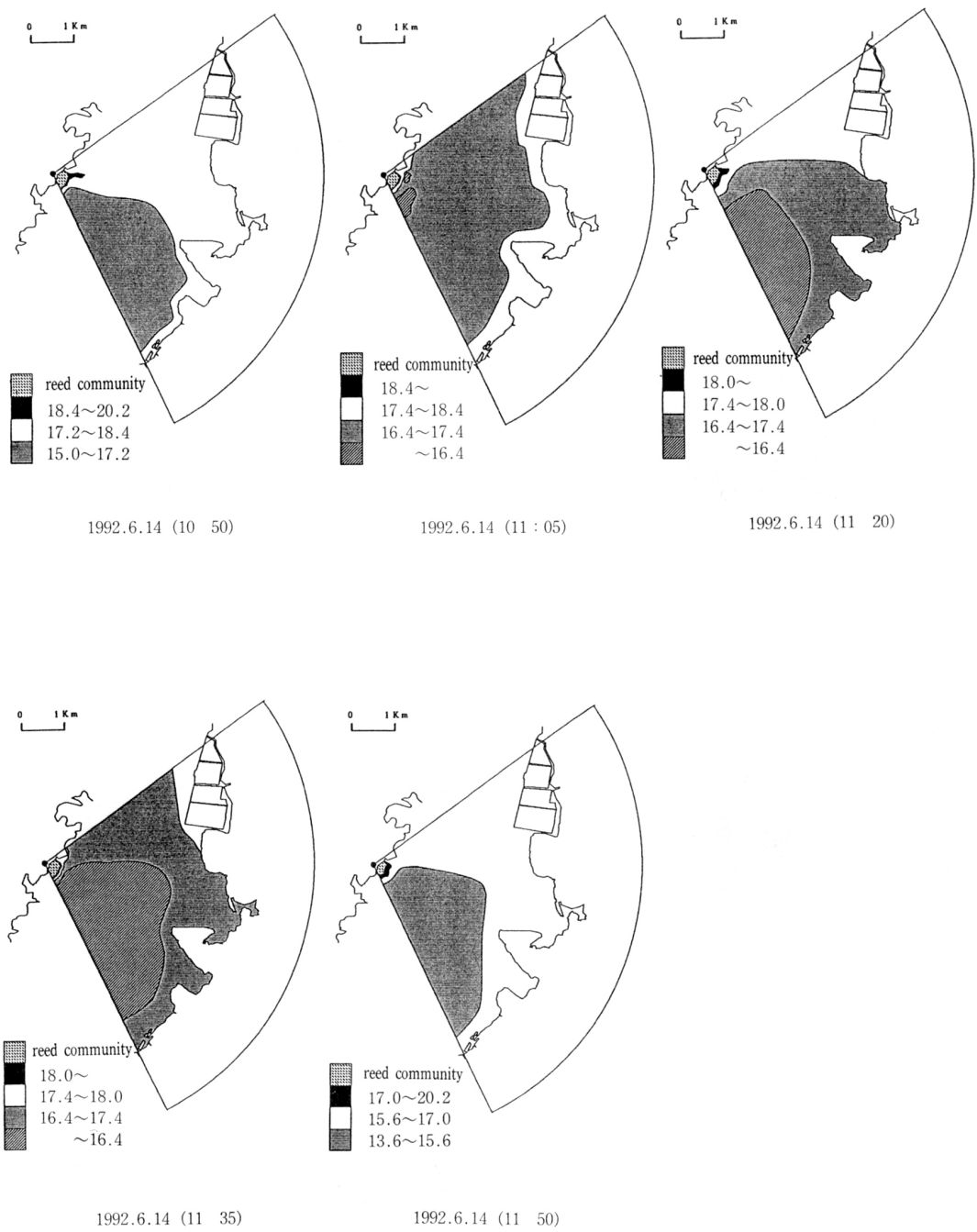


Fig. 7 Temporal changes of the surface temperature pattern at Ogoto from 10:50 to 11:50 June 14, 1992

10 50~11 50の1時間の温度パターンの変化を図7に、14 40~15 40の1時間の温度パターンの変化を図8に示した。

1992年は南湖全体の動きとの関連で温度パターンの変化を調べた。その結果、(1)昨年度と同じく 静振とみられる南北の動きが南湖全体に認められる (2)水の動きが南から北の方がヨシ群落に対する影響が強く この動きに伴い群落内の温度の高い水塊が引きずられるように北へ動いている (3)この時の静振の周期は約30分で これまでの観測結果とほぼ一致している (4)水の動きが北から南の場合は、ヨシ群落への影響が小さいようで 群落内の水塊が引きずられるようには見えないことなどがわかった。

なぜ湖水の動きが南から北の方がヨシ群落に

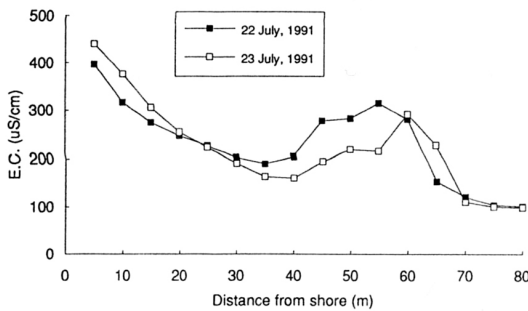


Fig. 9 Electric conductivity distributions on the transect off Ogoto(μs/cm)

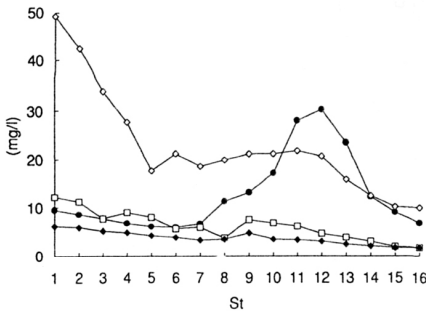


Fig. 10 Horizontal distributions of Na⁺ K⁺ Mg²⁺ and Ca²⁺
● Na⁺, □ K⁺, ◆ Mg²⁺ ◇ Ca²⁺

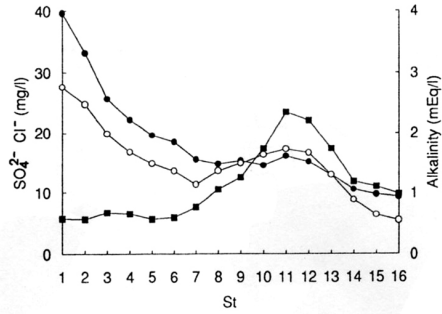


Fig. 11 Horizontal distributions of SO₄²⁻, Cl⁻ and alkalinity
● SO₄²⁻, ■ Cl⁻, ○ Alkalinity

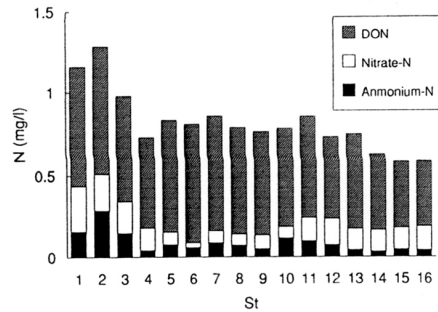


Fig. 12 Horizontal distributions of dissolved organic nitrogen (DON) nitrate-N and ammonium-N

に対する影響が強いのかについてはまだ即断できないが、上の結果から群落外の湖水の動きにあわせてヨシ群落内の水の交換が起こっている可能性を示唆している。なお、これらの赤外線リモートセンシングの図から ヨシ群落の北側には水温がやや高い水域が見られる。この水域のヨシについての計測はないが、目測でヨシの高さに違いが見られ、ここでのヨシの高さは大きく水温の影響が見られるようである。

図9に電導度(E C)を示すが、電導度(18℃の値に換算した)は岸寄りが高く 南湖に向かって徐々に減少し、St 8(40m)付近から再び高くなり St 11(55m)で極大を示した。この電導度の分布パターンは両日共同じ傾向であった。

この電導度の分布パターン¹⁾の成因を探るために、図10に陽イオン(Na^+ K^+ Mg^{2+} Ca^{2+}) 図11に陰イオン(Cl^- SO_4^{2-} HCO_3^- <アルカリ度>)の水平分布をプロットした。図10と図11からわかるように、岸寄りで Ca^{2+} SO_4^{2-} および HCO_3^- が高濃度であり St 11付近で Na^+ と Cl^- の濃度が顕著な極大を示している。これらは先ほどの電導度の分布パターン¹⁾と類似性が高く、電導度の分布パターン¹⁾の変化は両者の物質濃度の反映と考えられる。図12に示すように、溶存態全窒素の水平分布も電導度とよく似た分布パターン¹⁾を示している。

なお、溶存態全窒素のうち、有機態窒素がその60~89%を占めていた。図には示していないが、溶存有機態¹⁾ 溶存反応性¹⁾について同様の傾向が見られた。以上のように、ヨシ群落内では岸側から沖側に向けて溶存成分の分布に大きな違いが認められた。

次に、溶存イオンをヨシ群落内の分布パターン¹⁾によって分類すると Na^+ Cl^- グループと K^+ Mg^{2+} Ca^{2+} SO_4^{2-} HCO_3^- グループに大別される。個々のイオンについてこの分布の成因を論ずることは現在のところ困難であるが、琵琶湖の沖帯と比較して (1)ヨシ群落の水深が浅いため、水の蒸発による効果を受けやすいこと (2)ヨシの繁茂による水の流れや混合の阻害が起こること (3)岸に近いことからイオンの供給源が存在する可能性があること (4)ヨシや付近に住む生物による活性が強いこと (5)さらに、次に述べるように懸濁物質の組成が大

きく異なり 特異的な化学的吸着 脱着がおこる可能性などが関係していると思われる。

次に、懸濁態成分の分布について検討した。図13に示すように懸濁物質(SS)は St 9 (45m) で極大を示したがクロロフィルaは St 12~14で高く 両者の分布に対応はみられなかった。従って 湖の沖帯と違って ヨシ群落内ではSSの主たる成分は植物プランクトンでないことを示している。そこで、SSの主たる成分を探るために、SSと懸濁態元素(P-Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe)間の相関関係を検討した。

表1にこれらの相関マトリックスを示した。表からSSと高い相関関係にある懸濁態元素はP, Fe, S, Caであることがわかる(これを第1群と呼ぶ)。

また、土壌粒子起源と推定されるAl, Ti, Si, Kの間には高い相関係数が得られた(これを第2

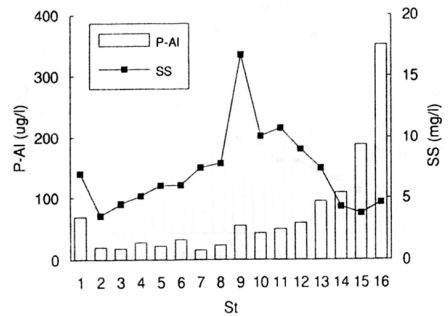


Fig. 14 Horizontal distributions of SS and P-Al

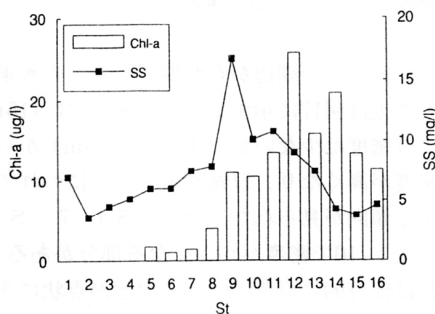


Fig. 13 Horizontal distributions of SS and chlorophyll a

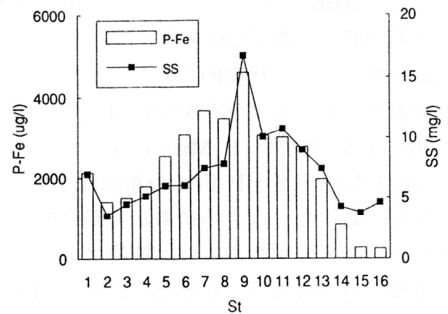


Fig. 15 Horizontal distributions of SS and P-Fe

Table 1 Correlation matrix among SS and particulate elements

変数名	SS	P-AI	P-Si	P-P	P-S	P-K	P-Ca	P-Ti	P-Mn	P-Fe
SS										
P-AI	-0.248									
P-Si	-0.071	0.977								
P-P	0.811	-0.607	-0.504							
P-S	0.754	-0.658	-0.549	0.962						
P-K	-0.188	0.965	0.971	-0.577	-0.579					
P-Ca	0.731	-0.642	-0.516	0.901	0.956	-0.549				
P-Ti	-0.222	0.984	0.971	-0.604	-0.645	0.976	-0.619			
P-Mn	0.184	-0.448	-0.368	0.351	0.512	-0.300	0.634	-0.407		
P-Fe	0.810	-0.634	-0.523	0.981	0.971	-0.580	0.917	-0.617	0.337	

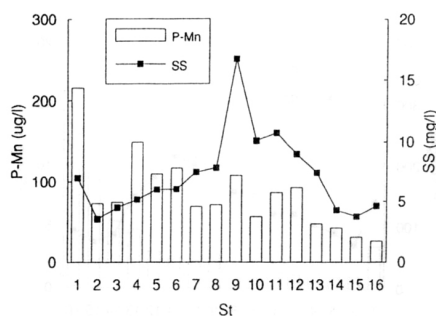


Fig. 16 Horizontal distributions of SS and P-Mn

群と呼ぶ)。Mnについては他のどの元素やSSとも相関は低かった(これを第3群とよぶ)。それぞれの群について代表的なものを一つ選び、この懸濁態元素の水平分布を図14 (P-AI) 図15 (P-Fe) および図16 (P-Mn) に示した。これらと比較するとSSとP-Feの分布の対応がもっとも顕著であった。以上の結果から総合的に判断するとSSの主たる成分は植物プランクトンや土壌成分ではなく、有機物質に富み、Feを高濃度に含む物質、おそらく腐植物質(フミン酸)であろうと推定される。

次に、ヨシ (*Phragmites communis*) ウキヤガラ (*Scirpus fluviatilis*) マコモ (*Zizania*

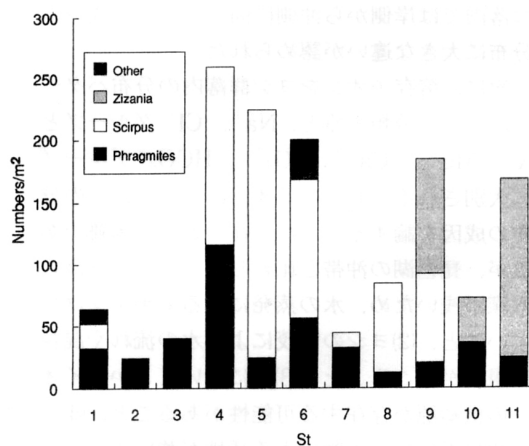


Fig. 17 Horizontal distribution of densities of submerged plants in reed community

latifolis) などの高さ、茎の太さ、密度を表2に示した。

ヨシ群落内の湖辺から沖側への密度の水平分布の変化は図17に示すように、St 3 (15m) までは密度は少ないが、St 4 (20m) から急に密度が高くなり、以後沖に向かうにつれて減少する傾向が見られた。途中 St 7 St 8, St 10で密度が小さくなる部分があるが、これは部分的に群落内でヨシなどが点状にまばらになっているためである。St 16より沖側は急に密度が低下し、わずかししか生えていない。

この密度に関する分布パターンは、一般に他のヨシ群落においても見られるが、種類別にみ

Table 2 Characteristic of aquatic plant in the reed community at Ogoto

Station		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16
Distance from shoreline		5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	60m	70m	80m
Height	<i>Phragmites</i>	182.0	228.4	217.1	131.8	207.9	252.7	289.7	178.8	214.1	198.3	207.5	-
	<i>Scirupus</i>	120.6			151.7	154.5	156.2	195.8	169.5	188.1	-	-	-
	<i>Zizania</i>		-	-				-	-	-	194.3	209.3	
	Other	94	-				83.8			155.1	-	-	-
Diameter of shoot	<i>Phragmites</i>	7.8	8.7	8.1	3.9	7.5	8.8	7.9	6.7	7.4	9.3	9.3	-
	<i>Scirupus</i>	6.3		-	4.8	3.1	4.4	6.2	7.0	6.9	-	-	-
	<i>Zizania</i>										8.7	9.5	
	Other	5.9	-				1.9			1.8	-	-	
Density	<i>Phragmites</i>	32	24	40	116	24	56	32	12	20	36	24	-
	<i>Scirupus</i>	20	-	-	144	200	112	12	72	72	-	-	-
	<i>Zizania</i>										36	144	
	Other	12					32	-		92			-

ると、ここではウキヤガラがSt 9までに多く見られ、沖帯には生育しない。逆に、マコモは、ここでは岸側には見られないが、沖の方には多く見られる。琵琶湖周辺の他のヨシ群落内でもウキヤガラのみられる水域では一般に岸側に多く見られるが、マコモの場合は必ずしもヨシ帯の沖側に多くみられるとは限らず 底質によってはマコモは岸側に多く見られる所もある。

表3にはヨシ群落内の水中溶存酸素量、表4にはヨシ群落内沖側におけるヨシにつく付着生物の生産量と分解量の測定結果が示されている。ヨシ群落内の溶存酸素量(7月21日時間は1300~1500)は全般に少なく 群落内では10~52mg/lであったが、ヨシ群落の外側における溶存酸素量は69mg/lであった。8月31日にはヨシ群落の沖側について南から北の方向にほぼ等間隔に7地点(L1~L7)を設定して 溶存酸素量を測定した。表3に示すように群落内の岸側(当時は水位が下がっており岸側といっても沖側よりやや内側)は21mg/lであったのに対して ヨシ群落内沖側は67mg/l~104mg/lであった。このことからヨシ群落内における有機物の分解活性は相当高いと考えられ

る。

表4に示されるようにヨシ群落内の沖側の湖水中の総生産量と分解量はそれぞれ0.20~0.81O₂mg/l/day, 0.23~0.55O₂mg/l/dayであった。少なくとも この時期では、ヨシ群落の沖側に、湖岸に平行に設定したL1からL5の中でL1とL3の地点では純生産量は負で水中にバクテリアなどの微生物が多く、分解活性が強かったことを示唆している。一方 L5の地点では純生産量は正で分解よりも生産の方が優位であった。

一方 ヨシの茎につく付着生物による生産量と分解量を調べた結果では、茎表面積1cm²につき1日当りの生産量は平均0.017O₂mg 分解量は平均0.047O₂mgであった。これらの結果から ヨシ群落内の外側では、ヨシの密度(平均密度160/m²)とヨシ茎の直径(0.95cm)と水深(当時の平均水深約50cm)から計算して、底面積1m²につき付着生物だけでも有機物の生産量は0.41O₂g/day, 分解量は1.13O₂g/dayとなる。なお、この水域ではヨシ群落帯沖には、コウガイモ イバラモ ササバモ、ヒロハノエビモ マツモ、ネジレモ、ヤナギモ ホザキノ

Table 3 Oxygen concentration in the reed community at Ogoto

August 22, 1991 (Ogoto)

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Oxygen content mg /l	2.9	-	2.9		1.8	-	2.6		2.2	1.0	5.2	6.9

August 31, 1991 (Ogoto)

Station (offshore zone)	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7
Oxygen concentration(mg/l)	7.5	9.01	10.4	6.9	6.7	7.6	9.4
Water temperature(°C)	27.1	27.3	28.4	27.3	27.7	27.0	28.1

フサモ コカナダモ オオカナダモなどの沈水植物が多数みられた。

1992年は主として琵琶湖周辺各地におけるヨシ群落についての調査を行った(図2)。

調査地点は矢橋5地点、山田5地点、赤の井2地点、近江八幡付近1地点、長浜付近4地点、びわ町付近3地点、尾上付近4地点、今津付近2地点、新旭3地点、他に西の湖2地点においてそれぞれ岸から沖にかけて2~5箇所のサンプルを選んで測定した(一部すべて測定出来なかった所もある)。それぞれの水域内でのヨシの性状にはばらつきが大きかったのでここでは各水域における特徴よりも琵琶湖全域の全般的な傾向について見ることにした。従って数値はそれぞれの水域における調査結果を平均してそれを比較することにした。

まずヨシ群落内の沖側の水中に生えているヨシの密度(生ヨシと枯死ヨシの両方を含む)は株立ちの見られる地点とそうでない所で大きく異なっていた(表5)。

ここでは、南湖と北湖とで密度の違いは認められなかったので、一応一緒にして比較したが、株立ちの見られるヨシ群落(株立ちしたヨシそのものは別にした)の平均密度は260/m²(生ヨシのみで168/m²) 株立ちの見られないヨシ群落の平均密度は135.1/m²(生ヨシのみで81.8/

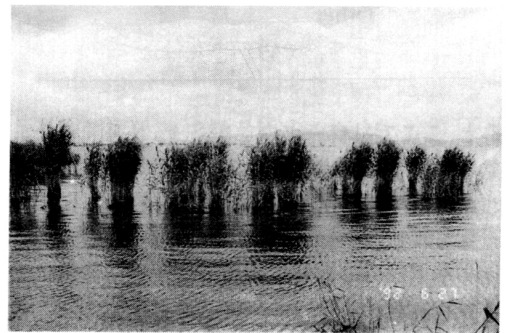


Photo 2 Reed community showing patched distribution

m²)で 株立ちのみ見られるヨシ群落内の密度は約2倍ほど高かった。株立ちを起こして孤立したヨシの密度は特に大きく(写真2参照) 1 m²に換算すると平均488/m²(生ヨシは354.6/m²) 最高656/m²(生ヨシでは504/m²)であった。株立ちしたヨシの密度が特に高いのは、茎が風波で折れた茎に、また新しい茎が次々とでてくるためだと思われる。

茎の強度と茎の太さの関係はばらつきが大きかったが、ヨシの太さが増すにつれて茎の強度も指数関数的に大きくなる傾向がみられた。

ヨシの茎の強度は同じ直径で比較しても強弱があるが、自然の状態ではヨシの茎が細いと全体的にヨシの茎の強度は弱くなるので 茎の直

Table 4 Production rate and respiration rate at offshore side of the reed community at Ogoto

	L 1	L 3	L 5
Production rate in water (O ₂ mg/l/day)	0.33	0.20	0.81
Respiration rate in water (O ₂ mg/l/day)	0.55	0.23	0.48
Production rate of periphyton (O ₂ mg/surface shoot area cm ² /day)	0.02	0.01	0.02
Respiration rate of periphyton (O ₂ mg/surface shoot area cm ² /day)	0.03	0.05	0.06

Table 5 Differences of density between the reed community which a patched distribution is existed in and the reed community which a patched distribution is not existed in

Patched distribution		Non patched distribution	
Water Depth	Density	Water depth	Density
24 cm	312 (248)/m ²	16 cm	132 (60)/m ²
37	352 (244)	31	62 (24)
74	172 (96)	45	84 (32)
83	240 (148)	49	188 (156)
109	224 (104)	52	312 (124)
		56	120 (64)
		57	164 (124)
		69	116 (96)
		75	48 (48)
		84	148 (108)
		91	112 (64)
Average	260 (168)	Average	135.1 (81.8)

() alived one

径に対する強度についてはここでは考慮しないことにした。

表6はそれぞれの地点におけるヨシ茎の平均強度と茎の平均直径をまとめたものである。この表から(1)一般に水中に生息するヨシの茎の強度は陸地に生息するヨシよりも小さい、(2)茎の直径についても水中に生息するヨシの方が細い、(3)人工的に植栽したヨシ(陸地しか生息していない)の茎の強度は自然に存在している陸地のヨシより弱く、茎の直径も細い、(4)陸地に生息

するヨシの強度がもっとも大きいのは、ヨシ群落の発達している雄琴と赤野井湾である。(5)水中に生息するヨシでは尾上や赤野井湾に生息するヨシの茎は強い、(6)茎の太さは陸地では西之湖や赤野井で、水中では近江八幡や山田湾が大きかった。

赤野井湾は現在、北側の水域で著しい株立ち現象がみられるが、この表の陸地側のヨシは豊富なヨシ群落をもつ南側に位置するヨシの茎についてである。また、今津のヨシは過去に植栽

Table 6 Differences of strength in a shoot of reed among growing places

	Land		Water	
	Strength of shoot	Diameter of shoot	Strength of shoot	Diameter of shoot
South basin (East)				
Yabase	0.82	7.36	0.66	6.76
Yamada	0.90	8.20	0.66	8.04
Akanoi (North)			0.83	6.97
Akanoi (South)	1.21	10.9		
Yamada*	0.66	6.27	-	-
* Planting				
South basin (West)				
Ogoto	1.57	9.33		
North basin (East)				
Hatiman	-		0.67	8.45
Nishinoko	1.10	11.4	-	-
Nagahama	-	-	0.75	7.92
Biwatyou	0.98	7.39	0.54	7.92
Onoe	0.89	8.15	0.88	7.19
North basin (West)				
Imazu	0.67	6.70	0.53	6.23
Sinasahi	1.05	9.44	0.45	7.11

されたものであるが、このヨシも人工植栽された山田のヨシの強度 太さと同じように低かった。

図18はヨシの生息している湖辺の勾配とヨシの茎の強度の関係を示したものである。ここでは各水域において 株立ちが起こっているヨシ群落と株立ちが起こっていないヨシ群落にわけて示した。

図18から少なくとも湖辺の傾斜が3度を越えているところではすべて株立ちが起こっていることがわかる。一方 勾配が3度以下では株立ちが起こっている水域はは少なく、わずかに矢橋と赤野井湾北側であった。ここでは特にヨシの衰退が進んでいるところである。このことから、湖底の勾配が大きいところは株立ちが起こりやすいことを示している。また、勾配が少なくても、湖辺の環境が悪いところ（すぐ近くに

湖岸堤が建設された) か水質が悪いところは株立ちが起こりやすい可能性をもっている。

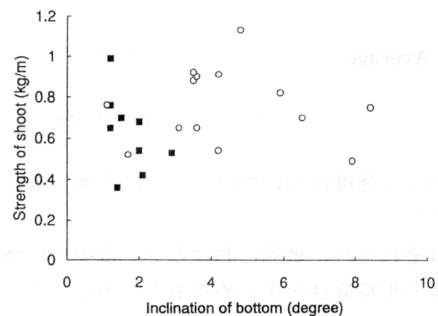


Fig. 18 Strength of shoot in the reed community at various inclination
○ Community showing patched distribution ■ Normal community

図19は水深と茎の強度の関係を示したものである。株立ちの見られないヨシ群落では水深が大きくなるにつれてヨシの茎は強度が減少する傾向が見られる。株立ちの起こっているヨシ群落でも極度に株立ちして束状になったヨシを除くと 水深が深くなるにつれて茎の強度は次第に減少する傾向が見られた。

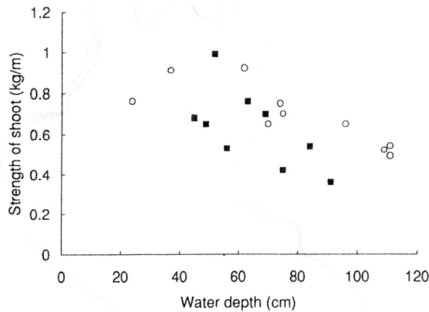


Fig. 19 Relationship between the strength of shoot and the water depth
 ■ Normal community ○ community showing patched distribution

すでに触れたように、株立ちして束状になったヨシの茎は密度が大きく 水深の割には茎の強度も大きくなっている。しかし、この株立ちした強度の強い茎をもつヨシでも 周辺のヨシがなくなり、株状したヨシが点状に分布するようになると ヨシの生えている湖底の浸食を受け やがて根ごと倒壊して消滅している例もある。水質とヨシの強度の関係については、株立ちが起こって点状に分布するヨシを除けば、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の含有量が多いとヨシの茎の強度が減少する傾向がみられた (図20)。他の成分につい

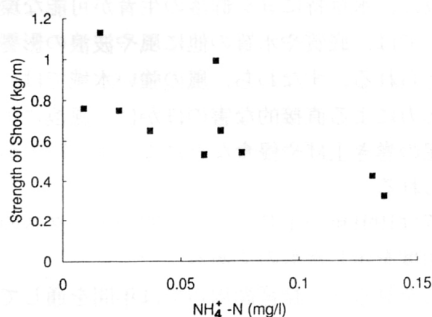


Fig. 20 Relationship between strength of shoot and a concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$

ては、現在のところ明確な相関関係はみられなかった。

1991年に得た雄琴の懸濁成分に関する調査結果が、琵琶湖全域のヨシ群落にもあてはまるかどうかをみるため、懸濁態物質間の関係をプロットした。図21に懸濁態鉄 (P-Fe) と懸濁態アルミニウム (P-Al) の関係を示した。

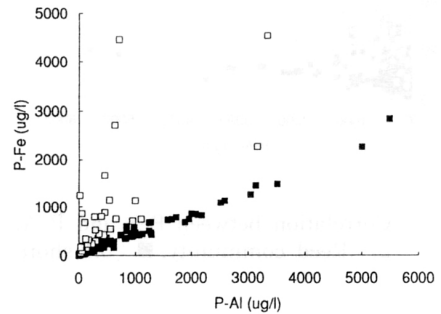


Fig. 21 Correlation between P-Fe and P-Al
 □ Reed community, ■ off shore

比較のため、これまで行ってきた琵琶湖 (北湖および南湖) の沖帯の表層水 (水深5 m以浅) における結果も この図に示した。調査地点により程度の差はあるが、沖帯と比較してすべてヨシ群落内のP-Alに対するP-Feの比は高かった。一方 図22に示すようにP-AlとP-Siの関係は、ヨシ群落内と沖帯の間でその比はほぼ一致していた。沖帯では、P-Al、P-Si、P-Feの比は水域に関係なく一定で これらは土壌由来の元素と考えられる。

また、図23、24および25はそれぞれP-S、P-PおよびP-Caについて P-Alとの関係を調べた

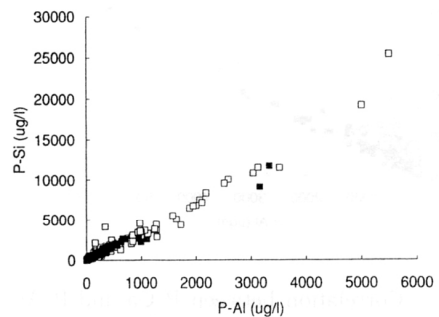


Fig. 22 Correlation between P-Si and P-Al
 □ Reed community, ■ off shore

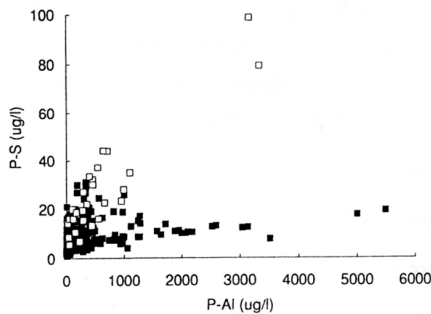


Fig. 23 Correlation between P-S and P-Al
□ Reed community, ■ off shore

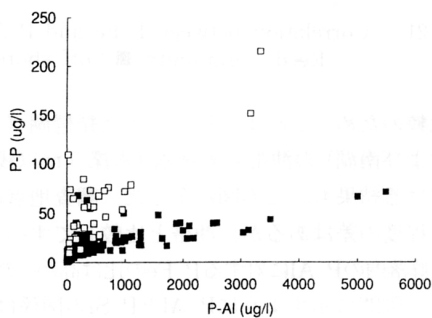


Fig. 24 Correlation between P-P and P-Al
□ Reed community ■ off shore

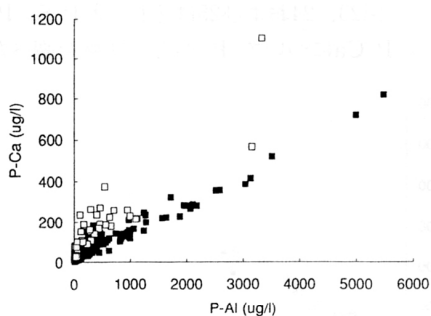


Fig. 25 Correlation between P-Ca and P-Al
□ Reed community, ■ off shore

ものであるが、ヨシ群落内の方が群落外よりも P-Al に対する比が高い。これらの結果はヨシ群

落内の懸濁物質は土壌成分だけでなく Fe に富む有機的な物質 例へばフミン酸が高濃度に存在していると考えられる。この点、1991 年に行った雄琴における水分析の結果とも一致している。

琵琶湖における主なヨシ帯の分布(図26参照)



Fig. 26

をみると 北湖北側では、塩津湾や大浦湾の湾奥、東岸の早崎 磯崎の南部、長命寺付近、西岸では外が浜(新旭)や高島町沖などで見られる。南湖では、東岸沿いに群落が見られる。

一般に、水草特にヨシ群落の生育が可能な環境としては、底質や水質の他に風や波浪の影響が考えられる。すなわち 風の強い水域では、風の応力による直接的な害のほかに、風浪による底泥の巻き上げや侵食などによる生育阻害が考えられる。

図27は1991年の1月~12月の間のアメダスの風の頻度を示したものである。

これを見ると 琵琶湖周辺では年間を通して北西の風が卓越し、しかも強風の場合が多いことがわかる。これは日本海の高気圧が地峡部を通過して滋賀県に進入し、「だし風」(収束を伴う)となって風速が強まるためと考えられる。また、

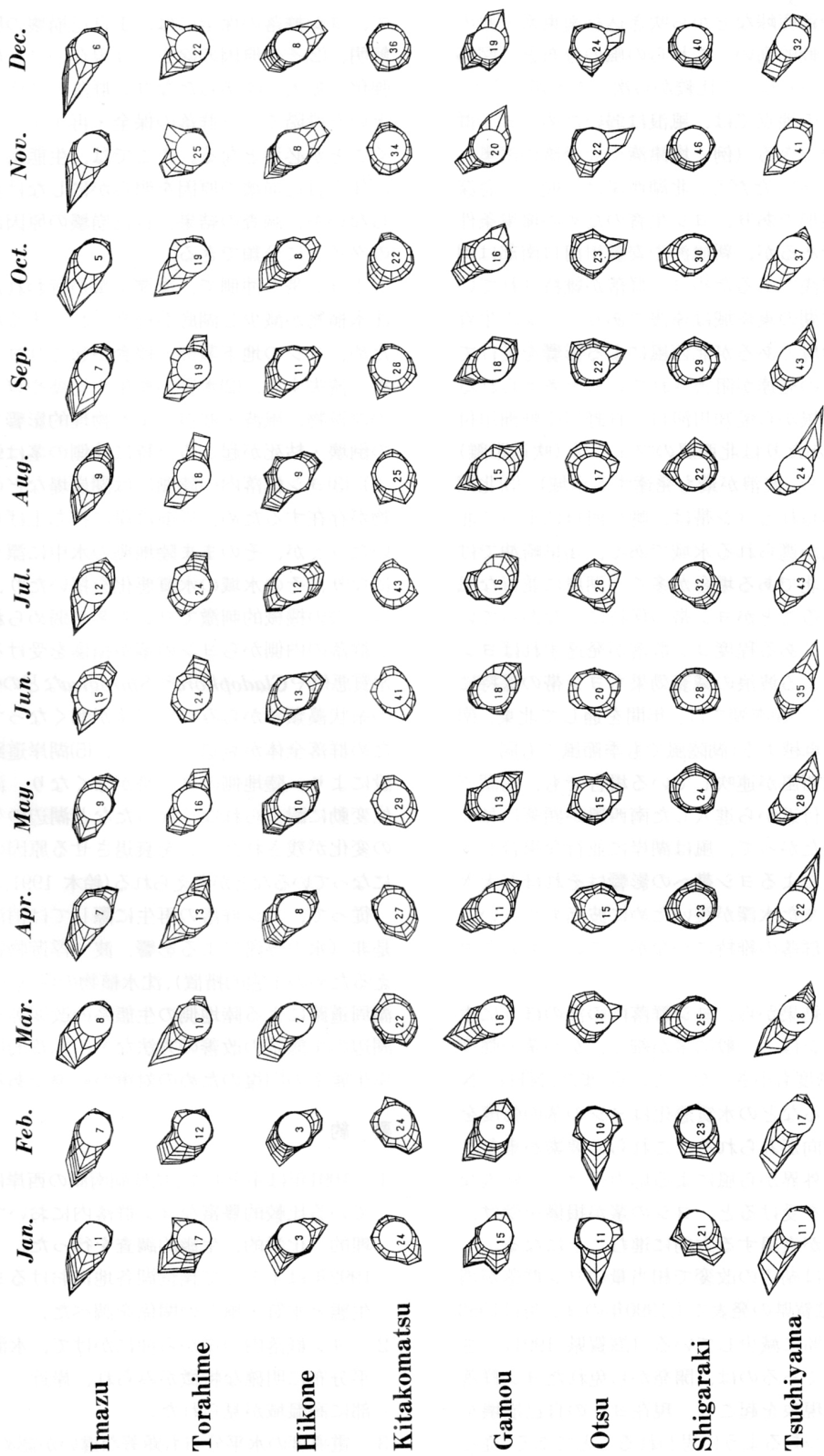


Fig. 27 Monthly wind roses at AMEDAS stations in Shiga prefecture

関ヶ原や鈴鹿峠などから吹き込む南東系の風の頻度も比較的高い。これらの風の分布と 図26のヨシ帯の分布との比較から次のことがいえる。

(1)風上の地点では、風浪は弱いため、ヨシ群落が発達できる(例 塩津湾や大浦湾の湾奥、新旭沖など)。ただし、北湖西岸は一般的に急深の湖底地形であり ヨシ生育のための環境条件は不適であるが、新旭沖や安曇川河口南部は例外的に遠浅であるためヨシ群落が維持されている。(2)北湖の東岸域は遠浅であり ヨシの生育には好環境であるが北西風による影響を受けてヨシ群落の発達が阻害されていると考えられる(例 彦根から愛知川河口、日野川や野洲川付近、このあたりは北西風のフェッチ(吹送距離)が長いので、波浪が最も発達する水域)(3)北湖東岸でみられるヨシ帯は、岬や河口によって北西系の風が遮られる水域である、(4)早崎沖では風向が真北である場合が多く 湖岸に並行な風が卓越することがヨシ帯の保持につながっている(また、ある程度ヨシ群落が発達すればヨシの存在による波浪の減衰効果もヨシ帯の保持に貢献する)、(5)南湖では、年間を通して北東、南西の風が卓越する(湖陸風でも季節風でも同じ)。北湖で北西風が連吹している場合でも 南湖では逢坂山付近から進入した南西風が顕著に見られる。したがって 風は湖岸に並行な場合が多く 波浪によるヨシ帯への影響はそれほど大きくない。また水深が浅いために波高も小さいことがヨシ群落の維持につながっているものと思われる。

以上の結果から ヨシ群落内の沖のほうに生育するヨシは、一般に茎が細く かつ茎の強度は弱く、密度も小さくなっている。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が多くなるなどの水質悪化はヨシの茎の強度を下げる傾向がみられる。これらの要素が重なり合って 外界から風による応力やゴミの侵入などの影響を受けると ヨシの茎が損傷を受けヨシ群落が衰退する方向に進むことになる。

琵琶湖は湖辺の改変で相当量のヨシ群落が消失した。滋賀県の発表でも1990年のヨシ帯は1953年の約50%に減少している(滋賀県 1991)。さらに問題であるのは、開発から免れたヨシ群落が株立ち現象を起こし、現在ヨシの自己崩壊を起こしつつあるように思われることである。従っ

て ヨシ群落の保全には、(1)自己崩壊の原因の解明 (2)その原因の除去、(3)現存のヨシ群落の強化・拡大、(4)あらたなヨシ群落の造成 拡大という段階でヨシ群落の保全 再生を計っていくことが必要となる。ここでは、生態系の変化に伴う自己崩壊の原因を明らかにしなければならないが、調査の結果、自己崩壊の原因は4つのタイプに分類できる。

(1)ヨシ帯の沖側で 浚渫工事が行われたため沈水植物が減少し湖底が侵食されやすくなったため、ヨシの地下茎部で侵食が起こりヨシが倒壊 流失する (2)水質の悪化や切藻やゴミなどの浮遊物、風波 波浪による物理的影響でヨシの倒壊 枯死が起こる(特に沖側の茎は弱いので)(3)ヨシ群落内の陸側には湖岸堤などの工作物が存在するため、以前は岸に打ち上げられていたゴミが、そのまま陸地側の水中に漂うことになり その水域の水質悪化を招いたり そのゴミの機械的刺激でヨシの茎が弱められ、ヨシ群落の内側からヨシの茎が損傷を受ける、(4)水質悪化や*Cladophora*や*Spirogyra*などの付着性の糸状藻類がからみついて茎が弱くなっているため群落全体が衰退していく (5)湖岸道路の建設により 陸地側のヨシ帯がなくなり 湖の水位変動に耐えられなくなったなど湖辺の生態系の変化が残されたヨシを衰退させる原因の一つになっているなどが考えられる(鈴木 1991,1992)。

従って ヨシ群落の再生に際しては消波堤の是非(水の停滞による影響、波 浮遊物質に耐えるための生態的措置)、沈水植物の保護 再生、湖周道路による陸地側の生態系の改変等を含む湖辺の生態系の改善の方法など 本質的には湖岸生態系の回復のための対策が必要であろう。

要 約

- 1991年は主として琵琶湖南湖の西岸に残っている比較的豊富なヨシ群落内において 物理的、化学的、生態的調査を行った。1992年は主として琵琶湖各地におけるヨシの生態と水質 風との関係を調べた。
- ヨシ群落内の岸から沖にかけて 水温の水平分布に明確な特徴がみられ、岸近くと沖合部に高温域が見られた。
- 電導度の水平分布も顕著な違いが認められ、

- 岸寄りが高く 岸から55m付近でも極大を示した。この電導度の分布パターンと Ca^{2+} SO_4^{2-} および HCO_3^- や Na^+ と Cl^- さらに溶解態全窒素などの濃度との間に平行関係がみられた。
- 4 ヨシ群落内のSSの主たる成分は有機物質に富み、Feを高濃度に含む物質で腐植物質(フミン酸)であると推定した。
- 5 静振とみられる南北の動きに伴い、ヨシ群落内の温度の高い水塊が引きずられるように北へ動いていることが確認された。
- 6 ヨシ群落内には、主としてヨシ(*Phragmites communis*)、ウキヤガラ(*Scirpus fluviatilis*)、マコモ(*Zizania latifolis*)が生育していたが、この全密度は湖辺から15mまでは少なく 沖20mから密度が急に高くなり さらに沖に向かうにつれて減少する傾向が見られた。
- 7 ヨシの茎につく付着生物だけでも有機物の生産量は底面積 1 m^2 につき $0.41\text{ O}_2\text{ g/day}$ 分解量は $1.13\text{ O}_2\text{ g/day}$ であった。
- 8 1992年の琵琶湖全域のヨシ調査では、株立ちのみられるヨシ群落内のヨシの密度はそうでないヨシ群落内のヨシより平均約2倍高かった。
- 株立ちを起こして孤立したヨシそれ自身の密度は 1 m^2 当たり平均 $488/\text{m}^2$ (生ヨシは $354.6/\text{m}^2$)、最高 $656/\text{m}^2$ (生ヨシでは $504/\text{m}^2$) と特に大きかった。
- 9 一般に水中に生息するヨシの茎の強度は陸地よりも小さく(茎の直径も水中に生息するヨシの方が小さい)、人工的に植栽したヨシ強度は自然に存在しているものより弱く、茎の直径も小さかった。
- 10 湖辺の傾斜が3度を越えるとヨシの株立ちが起こりやすく 勾配が3度以下では株立ちは少ないが、矢橋と赤野井湾北側では株立ちがみられた。
- 11 株立ちの見られないヨシ群落は水深が大きくなるにつれて ヨシ茎の強度は減少する傾向がみられた。
- 12 株立ちが点状に分布するヨシを除けば、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の含有量が多いとヨシの茎の強度が減少する傾向がみられた。ヨシ群落内外の化学分析からヨシ群落内の懸濁物質は土壌成分

だけでなく Feに富む有機的な物質(例えばフミン酸)が高濃度に存在していると思われる。

- 13 株立ちなどを起こしてヨシ群落の生育を衰退させる物理的要因として風浪による底泥の巻き上げや侵食、岬や河口による地形なども関係し、これら相互的要因でヨシ群落の生育の状態が変わる。

参考文献

- 板倉安正 芹川河口域における湖況のリモートセンシング 滋賀県琵琶湖研究所研究報告、86-AO 135-139, 1987
- 板倉安正 遠藤修一 岡本巖 熊谷道夫、琵琶湖湖況の赤外線リモートセンシング 赤外線技術研究会資料、NO 190, 1988 a
- 板倉安正 熊谷道夫、赤外線リモートセンシングによる琵琶湖湖況の観測、電気学会光応用視覚研究会 No Lav 88-8 1988 b
- 遠藤修一 奥田節夫 横山康二、琵琶湖の流況解析におけるMSS赤外画像の応用 赤外線技術 9 29-35, 1984
- 環境庁 第2回自然環境保全基礎調査報告書、1980
- 西条八東 クロロフィルの測定法、陸水学雑誌、36 103-109, 1975
- 鈴木紀雄 桜井善雄 沖野外輝夫、湖辺環境の保全とその意義、日本生態学会誌、39 81-89, 1989
- 鈴木紀雄 ヨシ群落再生の手法について、滋賀大学湖沼実習施設、第37回講演会、1991
- 鈴木紀雄 琵琶湖のヨシ群落の保全、滋賀大学湖沼実習施設編「琵琶湖を考える」182-194、新草出版、1992
- SUKOPP, Herbert and B.Marks tein. Changes of the reed beds along the Berlin Havel, 1962-1987, Aquatic Botany, 35 27-39 (1989)