

猪鼻湖湖岸における生物活動の活発・不活発ゾーンの形成と作用波浪の関係

宇多高明* ・内田光一** ・石橋伸夫***
入江光一郎**** ・大堀裕子***** ・牧嶋正身*****

1. まえがき

猪鼻湖は、静岡県の西部、浜名湖の北部に位置する水面積約 5.4 km²の汽水湖である。かつて猪鼻湖には大規模なアマモ場が広がり、そこは浜名湖を代表する魚類等の産卵場や、稚魚の生育場となっていた。しかし、湖岸周辺での土地利用が急速に高度化した結果、湖への流入負荷が増加して水質が悪化するとともに、湖岸の急速な人工化によって自然湖岸が消失し、湖の自然浄化能力の減少を招いている。このことは、漁業・観光を特色とする三ヶ日町の社会基盤の存立を脅かしている。とくに、湖岸線の人工化は湖岸全体の 80%にも及び、人々の生活と自然環境の調和が求められている今日において、早急な改善が求められている。猪鼻湖について、宇多ら(1997)は、湖の中央部に突出した舌状浅瀬周辺が湖内の他の区域と比較して生物活動が盛んであり、これには湖内の風波が関係している可能性が高いことを指摘した。風波の作用下での高い海水交換性その原因と推定される。これが事実とすれば、猪鼻湖は閉水域であることから、卓越風に起因する波浪の作用を強く受ける湖岸において舌状浅瀬と同様な意味で、湖岸に沿って生物活動の活発なゾーンと不活発なゾーンが形成されている可能性が高い。そこで本研究ではこのような推定の是非を現地観測によって調べた。

2. 観測地の概要と観測方法

猪鼻湖は猪鼻瀬戸を通じて浜名湖とつながっている(図-1)。湖の平均水深は約 5.6 m である。湖内ではカキ等の養殖が盛んであり、また湖内の釣橋川河口部を始めとした水域には藻場(アマモ場)が見られる。前報では、図-1の北部において舌状に突出した浅瀬周辺での底生生物の分布と波浪作用の関係について考察したが、本研究では湖全域を対象として検討を進める。現地調査では、図-1に示すように猪鼻湖のほぼ全体を

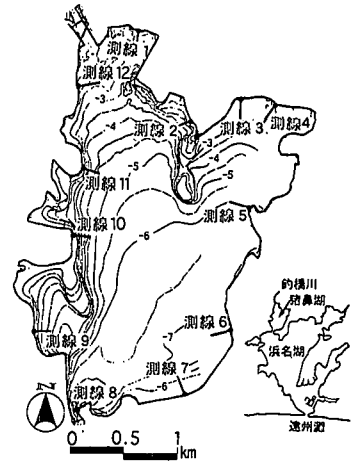


図-1 猪鼻湖内の調査測線の配置

網羅するように 12 測線を設定し、陸上部から水深約 4 m までの範囲の湖岸縦断形を測量した。湖岸では陸域から水域へと地形が変化するだけではなく、これにあわせて動植物の生息ゾーンも連続的に変化している。しかし、従来の水域調査では陸域の植生調査が十分ではなく、逆に陸域調査では水域の調査は行われなかったため、全体像の把握が困難であった。このため、本研究では水際線を中心として陸側・海側に連続的な観測を行った。測線 1 を湖の最奥部に設定し、そのほかの測線は時計回りに配置した。調査は 1999 年 1 月 12~14 日に実施した。各測線に沿って湖岸形状を測量した後、測線上で潜水観察を行い、目視により底質の性状について、シルト、砂、礫の区別を行った。また、各測線上で底生生物の調査も行った。底生生物調査では、測線上を約 1 m 幅で観察し、底生生物の被度が変化する地点(基点からの距離)を記録した。ここに、被度は、1 m 四方の中で、底生生物あるいは海藻が被覆している面積を種類ごとに示したものである。

潜水観察は広い範囲の特徴を簡易に把握できる反面、定性的データに止まる。そこで、代表地点において定量的データを得るために各測線ごとに汀線と水深約 2 m の 2 カ所で底質を採取し粒度分析を行った。同時に、そ

* 正会員 工博 建設省土木研究所 河川部長
** 静岡県土木部河川課企画係
*** 静岡県三ヶ日町都市計画課
**** 正会員 三洋テクノマリン(株)技術統括部研究開発室
***** 三洋テクノマリン(株)技術統括部研究開発室

それぞれの点で25 cm×25 cmのコドラート内の底泥を採取し、1 mm 目のフルイで選別することによって底生生物を採集した。なお、岩盤の場合にはコドラート内の付着生物を剝離採集した。採集した底生生物は、種の同定、個体数の計数、湿重量の測定を行った。

3. 各測線の湖岸形状、湖底底質、生物被度の岸沖分布

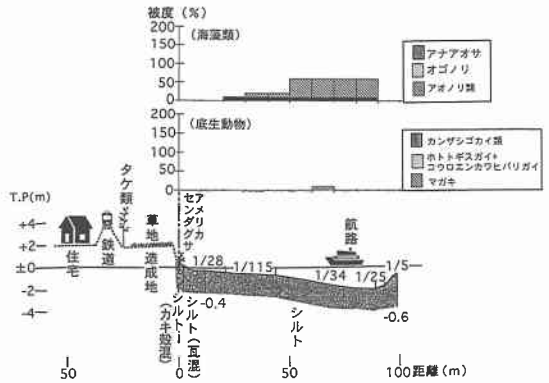
図一2~7には、湖岸形状、湖底底質、生物被度から見て特徴的な6測線(測線1, 5, 7, 8, 9, 11)の観察結果を示す。図一2に示す測線1は、猪鼻湖の最奥部に位置しているため波浪の作用も受けにくく、また近傍に神明川、小深田川の流入河川があるために、汀線のごく近傍までシルトにより覆われている。また、この測線は市街地にあるために、陸域も土地利用が進んでいる。さらに、測線1ではマガキなどの底生生物の出現は非常に稀であり、シルトで覆われた浅い水域にはアナアオサやアオノリ類が分布しているのみである。

図一3に示す測線5では自然湖岸がそのまま残されており、人工化が進む以前の猪鼻湖の湖岸状況をよく表している。急勾配の斜面には照葉樹が茂り、そこからなだらかに湖底へと続いている。汀線付近は礫混じりの粗砂または砂によって覆われているが、水深約2.5 mからはシルトとなる。また水深約4 m以深では湖底勾配が非常に緩くなる。この測線の底生生物としては、浅水域を中心としてカンザシゴカイ類やマガキなどの生育が良好である。また海藻類では、アナアオサとオゴノリが水深2 m以浅に集中的に見られる。これらの生物が豊富に存在するゾーンは、いずれも礫混じりの粗砂または砂などの底質で覆われており、沖合のシルトで覆われた湖底とは明瞭に区別される。さらに、水深2~4 mにはアマモの生育が見られる。

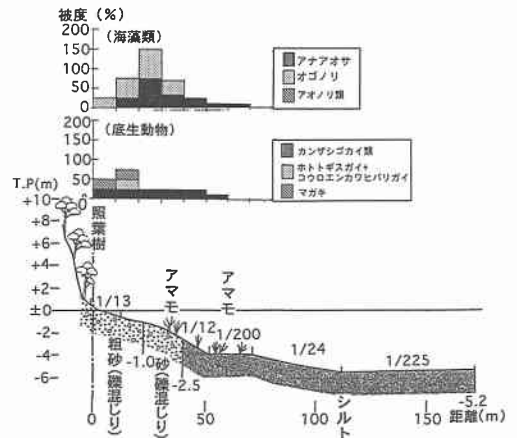
図一4に示す測線7では湖岸線に沿って道路が延びているが、この道路は浅い湖域を埋め立てて造られたものである。従ってその段階でなだらかに変化する水際線の特徴は失われた。道路護岸とその基礎捨石前面の急勾配の湖底は礫および礫混じりの砂泥(水深2.5 m以深)で覆われている。さらに水深約4 m以深はシルトで覆われている。湖底が礫または砂泥で覆われた区域には、底生生物ではマガキ、ホトトギスガイ、コウロエンカワヒバリガイ、カンザシゴカイが集中的に生息し、同時に海藻類も見られるが、シルトで覆われた湖底では海藻類や底生生物の出現は稀である。この特徴は測線5で見られたものと非常に類似している。

図一5には測線8の観察結果を示す。この測線は猪鼻瀬戸に位置し、最大水深は16 mと非常に深い。他の測線と異なり汀線から16 mまで岩礁が露出し、湖底勾配も

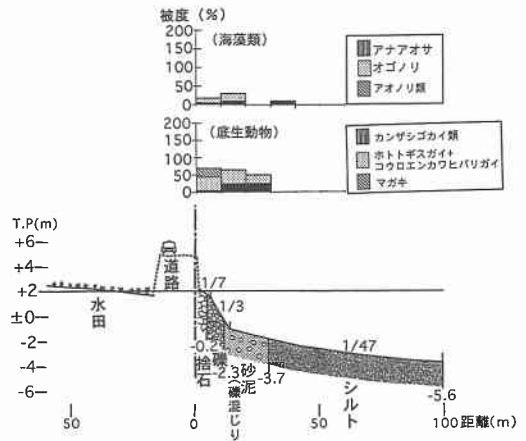
1/1と非常に急である。底生生物や海藻は、汀線から水深約3 mまでに集中的に出現している。この測線は、猪鼻瀬戸に位置するため猪鼻湖と浜名湖間での強い入退潮流の作用を受けることから、地質的に、また生物的に他の



図一2 測線1の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布



図一3 測線5の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布



図一4 測線7の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布

測線と著しく異なった特徴を有している。

図-6に示す測線9では、測線5と同様に背後地の急斜面には照葉樹や竹類等の植物が繁茂し、猪鼻湖西岸部の湖岸の中では比較的天然湖岸が多く残されている。汀線付近は礫であるが、水深約0.5m以深は緩やかな勾配

の湖底で、シルトに覆われている。図-3に示した測線5では、水深2.5mまでの湖底が粗砂または砂で覆われていたことと比較して、この測線では礫で覆われた湖底がごく浅い部分に限られ、それより沖はシルトで覆われていることが大きな違いである。底生生物は、カンザシゴカイ類が水深2.5m付近まで薄く分布している。また海藻は、アナアオサやアオノリ類が水深3m以深まで生育するが、被度は小さい。さらに、測線9では水深約1m以深の幅広い湖底にアマモが生育しているのが特徴である。

図-7には、測線11の観察結果を示す。この測線は岬の先端に位置し背後地は住宅地である。汀線近傍は砂礫であるが、水深1~2mは貝殻混じりのシルトで、さらに水深2m以深は一面がシルトで覆われ、湖底の勾配も緩やかである。底生生物は、カンザシゴカイ類がかなり幅広く見られ、また海藻類は、アオノリ類が水深1~2mに多く生育し、アナアオサがかなり沖合まで分布している。この測線では、図-6に示した測線9と比較して底生生物および海藻類とも被度が大きい。

以上に示した6測線のうち、猪鼻瀬戸に位置する測線8を除くと、汀線近傍の砂礫で覆われた区域の幅が広い測線と、そうでない測線に大きく二分される。砂礫からシルトに急変する水深を限界水深と呼ぶと、各測線の限界水深は、表-1に示すようである。この表からも限界水深は、猪鼻湖東岸の測線5、7では深く、西岸の測線9、11では浅く、さらに湖奥の測線1では「なし」、と大きく異なることが分かる。また測線9、11の限界水深はほぼ同程度ではあるが、底生生物および海藻の被度は明らかに測線11で大きい。図-1によれば、測線9は入江の奥に位置するのに対し、測線11は岬の先端に位置するため、波浪の作用度が異なることが原因と推定される。

4. 各測線の底質分析と底生生物分析結果

測線1~12における、汀線と水深約2mにおける底質分析の結果を図-8に示す。汀線部の特徴を調べると、測線1はシルト・粘土の含有率が82%と他の測線と比較して圧倒的に高い。測線1是最奥部に位置し、波浪による攪乱作用を非常に受けにくいいため、汀線付近に細粒分が堆積したと考えられる。測線2、3、6、7、10、11の6測線ではよく似た粒度組成を有し、中・粗礫分が約80%を占める。他の測線では、砂分の含有率が高い測線5、9、12と、細礫分や中、粗礫分の高いその他の測線に大別されるものの、いずれもシルト・粘土の含有率が低い。

水深約2mにおける粒度組成によれば、測線1や西岸の測線9、10、11、12などにおいてシルト・粘土が90%以上を占めるのに対し、東岸の測線5、6、7および猪

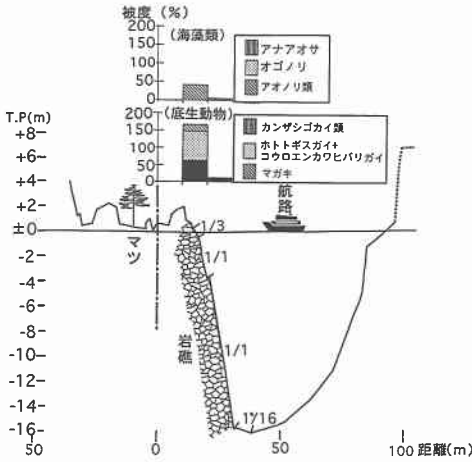


図-5 測線8の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布

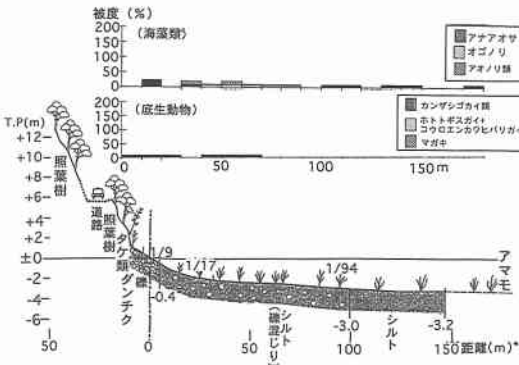


図-6 測線9の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布

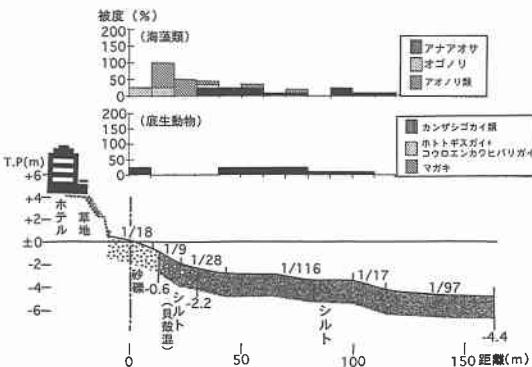


図-7 測線11の湖岸形状、湖底底質、生物被度の湖沖分布

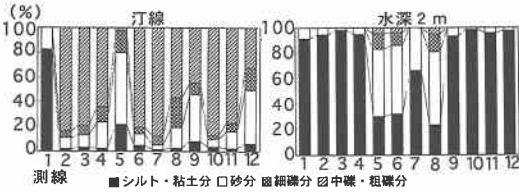


図-8 汀線及び水深約2m地点の底質粒度組成

表-1 各測線の限界水深

| 測線 | 限界水深 | 測線 | 限界水深 |
|----|------|----|------|
| 1 | 0m | 7 | 3.7m |
| 2 | 0.9m | 9 | 0.4m |
| 3 | 0.9m | 10 | 0.4m |
| 4 | 1.2m | 11 | 0.6m |
| 5 | 2.5m | 12 | 0.2m |
| 6 | 2.2m | | |

鼻瀬戸の測線8では砂礫の占める割合が非常に高い。この特徴は、表-1で底質が砂礫からシルトへと変わる限界水深が測線5, 6, 7で大きく、それら以外で小さかったこととよい対応を示している。このことは、猪鼻湖の東岸・西岸での波浪条件の相違が水深2m付近の底質組成にも大きく影響していることを示している。表-2には、測線1, 5, 7, 8, 9, 11の汀線と水深2mにおける底生動物の分析結果を示す。猪鼻湖東岸の測線5, 7では西岸の測線11や湖奥の測線1と比較して、底生動物の個体数、種類数とも多いことが分かる。

5. 底生生物の出現状況と作用波浪の関係

潮間帯での生物相の種類と被度から湖岸の生物の活性度(以下、生物活性度と定義する)の評価が可能である。生物活性度(J)は、沿岸方向に幅1mの潮間帯を考えたとき、潮間帯の岸沖方向の長さ(T.P.0.5m~0.5m間の湖岸の岸沖方向長さ)に生息する生物の総量として次式により求める。

$$J=1/L \sum f_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、L: 潮間帯の岸沖方向の長さ、 f_{ij} : i番目の生物について、潮間帯上部から1m間隔のメッシュを考えた場合、上部からj番目のメッシュの被度である。また、各測線ごとの生物群集の多様性については、Shannon-Weaver関数による多様度(H)(木元, 1976)を一つの指標とする。多様度Hは次式で与えられる。

$$H=3.23\{\log_{10} N - (1/N) \sum_{i=1}^S (n_i \cdot \log_{10} n_i)\} \dots\dots (2)$$

ここに、S: 生物の種類数、N: 総個体数、 n_i : i番目の個体数である。

猪鼻湖は閉鎖性が非常に高く、また猪鼻瀬戸は非常に

表-2 底生生物の分析結果

(コードラート: 25×25 cm)

| 側線 | 採集地点 | 個体数 | 種類数 | 優占種 | 多様度(H) |
|----|------|--------|-----|---------------|--------|
| 1 | 汀線 | 171 | 9 | カワグチツボ | 1.7 |
| | 水深2m | 36 | 10 | なし | 3.0 |
| | 合計 | 207 | 14 | カワグチツボ | — |
| 2 | 汀線 | 1,180 | 17 | Corophium sp. | 1.6 |
| | 水深2m | 3,180 | 21 | Corophium sp. | 2.4 |
| | 合計 | 4,360 | 27 | Corophium sp. | — |
| 3 | 汀線 | 8,256 | 21 | カワグチツボ | 2.6 |
| | 水深2m | 98 | 7 | Amphithoe sp. | 2.0 |
| | 合計 | 8,354 | 23 | ホトギスガイ | — |
| 4 | 汀線 | 2,517 | 11 | ホトギスガイ | 1.3 |
| | 水深2m | 1,341 | 16 | コウロエンカワヒバリガイ | 1.5 |
| | 合計 | 3,858 | 22 | ホトギスガイ | — |
| 5 | 汀線 | 3,054 | 20 | ホトギスガイ | 2.3 |
| | 水深2m | 843 | 17 | Polydora sp. | 2.0 |
| | 合計 | 3,897 | 29 | ホトギスガイ | — |
| 6 | 汀線 | 1,435 | 19 | ホトギスガイ | 1.2 |
| | 水深2m | 5,077 | 8 | Corophium sp. | 1.3 |
| | 合計 | 6,512 | 21 | Corophium sp. | — |
| 7 | 汀線 | 1,383 | 14 | ホトギスガイ | 0.8 |
| | 水深2m | 16,410 | 18 | ホトギスガイ | 1.8 |
| | 合計 | 17,796 | 21 | ホトギスガイ | — |
| 8 | 汀線 | 5,960 | 15 | コウロエンカワヒバリガイ | 2.2 |
| | 水深2m | 37,042 | 25 | ヒメホウキムシ | 1.8 |
| | 合計 | 43,002 | 31 | ヒメホウキムシ | — |
| 9 | 汀線 | 3,871 | 23 | Corophium sp. | 2.3 |
| | 水深2m | 452 | 10 | Corophium sp. | 2.2 |
| | 合計 | 4,323 | 25 | Corophium sp. | — |
| 10 | 汀線 | 1,456 | 22 | ホトギスガイ | 3.0 |
| | 水深2m | 364 | 12 | Polydora sp. | 1.9 |
| | 合計 | 1,820 | 26 | ホトギスガイ | — |
| 11 | 汀線 | 1,730 | 17 | ホトギスガイ | 3.2 |
| | 水深2m | 1,109 | 17 | Polydora sp. | 2.1 |
| | 合計 | 2,839 | 28 | Polydora sp. | — |
| 12 | 汀線 | 1,627 | 23 | カワグチツボ | 3.2 |
| | 水深2m | 8,516 | 14 | ホトギスガイ | 1.5 |
| | 合計 | 10,142 | 27 | ホトギスガイ | — |

狭いために猪鼻瀬戸から離れた湖内における潮流の作用は弱い(宇多ら, 1997)。このため、前報でも述べたように、猪鼻湖湖岸では風波の作用が卓越している。猪鼻湖近傍の静岡県相模試験場西遠分場で測定された気象観測をもとに、風配図を描いたのが図-9である。1992~1994年の観測結果を示しているが、猪鼻湖では冬季の季節風によってNWまたはWNWの風が卓越する。また夏季にはESEまたはSEの風向がかなり高い頻度になる。このような風配図と、図-1に示した猪鼻湖の形状によれば、猪鼻湖南東岸で波浪の作用が著しく、それに北西岸が続いていると考えられる。しかし、図-9は風向頻度を示すのみであり、波浪の強度を表す指標ではない。そこで、風向・風速と吹送距離を与えてSMB法によって波浪推算を行い、各風向の年間の積算波高を求めた(表-3)。積算波高を求めたのは、生物活動から見て波浪作用の累積作用が重要と考えたためである。

図-10には、各測線ごとのシルトの出現水深(限界水深)と積算波高の関係を示す。積算波高が高い測線5, 6, 7ではシルトの出現水深が他の測線より大きく、波高が高い場所ではシルトで覆われた海底面の出現水深が大きいことが分かる。図-11には、各測線における潮間帯生物の生物活性度と積算波高の関係を示す。これによれば、湖岸の生物活性度と積算波高の間には正の相関があり、積算波高が高いほど平均被度が大きくなることが

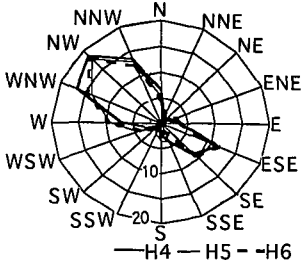


図-9 猪鼻湖の風配図

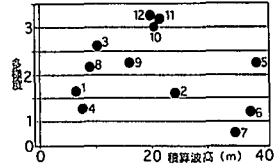


図-12 積算波高と汀線における底生生物の多様度の関係

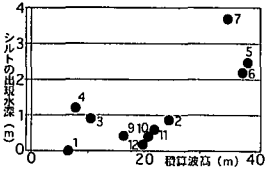


図-10 シルトの出現と積算波高の関係

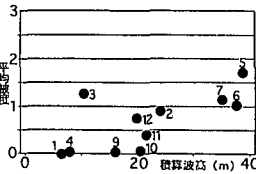


図-11 積算波高と潮間帯生物の生物活性度

分かる。すなわち、波浪作用によって活発な海水交換が期待される場所ほど底生生物の生物活性度が高まる。同様に、図-12は各測線の汀線における底生生物の多様度と積算波高の関係を示す。多様度は、積算波高が約20mでピークを持ち、それより積算波高が高くても、あるいは低くても生物の多様度が低くなる傾向が読みとれる。

6. 考 察

多様で豊かな生物相が存在するという事は、ごく限られた種類の生物が多量に出現することではなく、多くの生物種が出現することである。なぜなら、生物による生産や分解を考慮した場合、より複雑な生態系の形成がその基本条件となるからである。本研究の結果、猪鼻湖の汀線付近で生息している生物等と波浪条件とは密接な関係が見られ、波高が高いほど生息する生物量が大きくなる傾向が見られた。しかし、生物の多様性の観点からは、多様性が大きいのは波高が高い湖岸ではなく、中程度の条件の湖岸であった。このことは、津田・菊池(1975)が示しているとおり、環境条件が極端に片寄った場所では耐性の大きな種類だけが生存し、群集構成が単純化するという記述と一致する。したがって、湖岸の環境改善を図り、より多様な生物種を持つ生態系を形成させるには、適度な波浪条件であることが重要である。

猪鼻湖の汀線付近で多様で豊かな生物相がある場所は、適度な風波の作用を受け、それによって海水交換が行われている場所であることがわかった。そこは湖底面が砂礫で覆われ、シルト分が少ない場である。そしてマギキなどが多く生息し、それを付着基盤として様々な底

表-3 測線別年間積算波高の一覧

| 測線 | 卓越風向 | 年間出現日数 | 風向別年間積算波高 m | 平均波高 m | 年間積算波高 m |
|----|------|--------|-------------|--------|----------|
| 1 | ESE | 51 | 3.54 | 0.07 | 6.31 |
| | SE | 47 | 2.77 | 0.06 | |
| 2 | NW | 69 | 6.85 | 0.10 | 24.04 |
| | WNW | 87 | 17.19 | 0.20 | |
| 3 | ESE | 51 | 5.88 | 0.12 | 10.15 |
| | SE | 47 | 4.27 | 0.09 | |
| 4 | WNW | 87 | 7.48 | 0.09 | 7.48 |
| | NW | 69 | 17.19 | 0.25 | |
| 5 | WNW | 87 | 21.39 | 0.25 | 38.58 |
| | NW | 69 | 16.64 | 0.24 | |
| 6 | WNW | 87 | 20.85 | 0.24 | 37.49 |
| | NW | 69 | 15.45 | 0.22 | |
| 7 | WNW | 87 | 19.43 | 0.22 | 34.88 |
| | NW | 69 | 4.02 | 0.06 | |
| 8 | WNW | 87 | 4.79 | 0.06 | 8.81 |
| | ESE | 51 | 12.59 | 0.25 | |
| 9 | SE | 47 | 3.36 | 0.07 | 15.95 |
| | ESE | 51 | 12.79 | 0.25 | |
| 10 | SE | 47 | 7.62 | 0.16 | 20.41 |
| | ESE | 51 | 13.70 | 0.27 | |
| 11 | SE | 47 | 7.80 | 0.17 | 21.50 |
| | ESE | 51 | 11.36 | 0.22 | |
| 12 | SE | 47 | 8.31 | 0.18 | 19.67 |

生生物が生息している。しかも自然の風エネルギーに対応して発生する風波が主要な働きをしていることは興味深いことである。このことは、湖岸の環境改善を図る場合、無視できない重要性を有している。なぜなら、風波による海水交換が期待できない場所で養浜を行ったとしても、その場所は急速にシルトで覆われ、結局生物活動が活発でない環境に戻ってしてしまうと考えられるからである。このことは、環境改善を図る場合、作用波浪について十分検討しておくべきことを意味している。

最後に、本研究を遂行するにあたり、多大なご協力を頂いた浜名漁業協同組合二橋恒夫氏に甚大なる謝辞を表します。

参 考 文 献

宇多高明・入江光一朗・大畑裕子 (1997): 生物指標を利用した猪鼻湖湖心部の舌状浅瀬における海水浄化機能の現地観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 436-440.
 木元新作 (1976): 動物群集研究法 I (多様性と種類構成), 共立出版, p. 71.
 津田松苗・菊池泰二 (1975): 環境と生物指標, 2, 共立出版, pp. 61-73.