

海 洋 開 発 論 文 集

Proceedings
of
Civil Engineering in the Ocean

VOL. 15

[1999]

社団法人 土木学会
海洋開発委員会

海洋開発論文集 論文査読要領

1. 査読の目的

査読は、海洋開発論文集（以下論文集と略称）に登載を希望する論文の独創性、完結性、工学上の有用性と貢献度などの点について客観的に評価し、論文集に登載される論文として適切であるかの判定を行うことを目的としている。

2. 投稿論文の範囲

投稿論文は、海洋空間利用、海洋資源開発施設等の計画、調査、設計、施工、メンテナンス、および材料、環境、構造、設計基準、機器設備、波浪、流れ、海洋土質・地盤、氷などを対象とする。

3. 査読の方法と登載の決定

第1段審査：応募された論文概要に対し、1編につき複数の査読者により査読を行い、論文登載の可否の内定を行います。この論文概要は、1) 研究の目的、2) 研究の内容、3) 主要な結論、4) 関連した既発表論文を項目別に、図表も含めてA4版2枚以内に記述します。

第2段審査：登載が内定した論文については論文原稿（Full Paper）の提出を依頼します。提出された論文原稿に対しては、海洋開発委員会委員及び幹事による査読結果を踏まえ、審査を行い採否を決定します。なお、第2段審査に当たっては、著者に対して問合せ、内容、表題等の修正を求めることがあります。

海洋開発委員会 委員構成（五十音順）

平成11年4月末日現在

顧問	酒匂 敏次				
委員長	佐伯 浩				
副委員長	原田 宏				
委員兼幹事長	辰巳 勲				
委員	青山 俊行	石川 慎一	岩瀧 清治	宇多 高明	
	遠藤 茂勝	太田 英美	奥村 樹郎	鹿島 遼一	
	加藤 一正	近藤 功一	作田 岩穂	鈴木 周一	
	高桑 明	高山 知司	田中 則男	友広 勲	
	鳥居 謙一	中泉 昌光	古川 清	宮崎 武晃	
	山本 治生				
委員兼幹事	新井 信一	久保田 進	関田 欣治	藤田 良一	
幹事	柵瀬 信夫	東江 隆夫	矢内 栄二	吉川 利夫	

海洋開発論文集 Vol. 15 [1999]

目 次

特別講演

- 「日向灘海岸の野生動物について」……………中島義人 (宮崎野生動物研究会会長)
「養魚場からの栄養塩負荷と閉鎖循環式養殖への展望」……………丸山俊朗 (宮崎大学工学部土木環境工学科教授)
鈴木祥広 (宮崎大学工学部土木環境工学科助手)

- (1) フレア型護岸の大水深域への適用における護岸水理特性の検討
……………村上啓介・片岡保人・竹鼻直人・小長野宰・上久保祐志………… 1
- (2) 不規則波に対する重力式カーテン防波堤の波浪制御効果について
……………中村孝幸・中村文彦・川部正司・井上温人・森本 陸………… 7
- (3) 傾斜板列を前面壁とする二重式カーテン防波堤による波浪制御効果について
……………中村孝幸・神川裕美・河野 徹・楨本一徳………… 13
- (4) ケーソン式低天端護岸の水理特性に関する研究 ……………岩瀬浩二・池谷 毅・安部鐘一・能登谷勇人………… 19
- (5) 浅海域を対象とした非越波防波護岸断面の基礎的特性
……………上久保祐志・入江 功・村上啓介・神田一紀・片岡保人・濱崎義弘………… 25
- (6) 越波被害の実態に関する全国調査 ……………加藤史訓・笠井雅広・佐藤慎司・今村能之………… 31
- (7) 護岸の洗掘被災特性 ……………高山知司・間瀬 肇・安田誠宏・井上雅夫………… 37
- (8) 緩傾斜一層被覆ブロックの被害機構に関する実験的研究 ……………太田恵子………… 43
- (9) 波向の不確定性が防波堤堤体の滑動遭遇確率に及ぼす影響 ……………河合弘泰………… 47
- (10) 砕波帯外縁に設置されたケーソン防波堤の滑動現象と補強工 ……………池谷 毅・漆山 仁・滝本邦彦………… 53
- (11) 混成堤マウンド被覆石の安定性に関する実験的研究
……………杉野輝彦・古田喜代志・金田研一郎・吉田 要………… 59
- (12) 没水平板を持つ矩形浮体の動揺特性について ……………武村 武・落合 実・遠藤茂勝………… 65
- (13) 非対称係留特性を有する浮体の長周期動揺 ……………谷垣信吉・尾崎雅彦………… 71
- (14) 港内係留船舶の長周期動揺に関する現地観測と動揺シミュレーションの入力条件の評価
……………朝崎勝之・松尾憲親・鶴飼亮行・森屋陽一・津金正典………… 77
- (15) 反射波吸収式造波装置で励起される潜堤背後の長周期流速変動
……………山城 賢・吉田明德・入江 功・越智宏充………… 83
- (16) 外洋性コンテナターミナルの係留設備の設計および運用に関する基礎的研究 ……白石 悟・笹 健児………… 89
- (17) 外洋に面した海岸における長周期波の特性 —茨城県波崎海洋研究施設における現地波浪観測—
……………瀬戸口喜祥・浅野敏之・中村和夫………… 95
- (18) 人工タイドプールの開発 ……………綿貫 啓・廣瀬紀一・長谷川 実・高橋邦正・古澤 晃…………101
- (19) 北部九州の海岸地区における音環境の基本的特性に関する計測調査 ……………片山正敏…………107
- (20) 大規模海洋構造物の環境影響評価モデルの開発
……………田中昌宏・J. van Kester・池谷 毅・滝本邦彦…………113
- (21) セルオートマトンを用いた底生動物の変動予測に関する研究 ……………市村 康・松原雄平・野田英明…………119
- (22) ウニの摂餌への漂砂の影響に関する実験的研究
……………山下俊彦・高橋和寛・金子寛次・峰 寛明・坪田幸雄…………125
- (23) 波浪によるキタムラサキウニの深淺移動に関する実験的研究
……………桑原久実・川俣 茂・高橋和寛・山下俊彦…………131
- (24) 水産種苗の生息場形成条件に関する研究 —ヒラメ種苗の流動耐性と潜砂能力—
……………瀬戸雅文・高谷義幸・巻口範人…………135

- (25) 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅱ —アラメ・カジメの垂直分布と光環境—
 ……菅原顕人・小松輝久・瀬戸雅文・佐藤博雄……141
- (26) 浜田漁港における藻場造成を考慮した防波堤の効果評価
 ……佐見 誠・三橋宏次・鹿田正一・中西 敬・勝部昌彦・寺嶋 博……147
- (27) 流れ藻留め工の水理的検討 ……長谷川寛……153
- (28) 沿岸構造物における魚類産卵場の可能性 —ハタハタを対象として—
 ……伊東公人・永田晋一郎・津村 憲・谷野賢二……159
- (29) 北海道日本海側磯焼け海域における藻場造成 —ウニの食害を排除した藻場造成—
 ……廣瀬紀一・綿貫 啓・川嶋昭二・齋木正道・北尾修二……165
- (30) カプトガニ棲息場として見た岡山県笠岡市夏日海岸周辺の砂嘴・干潟の地形特性
 ……土屋康文・宇多高明・清野聡子・土屋圭子・大重義法……171
- (31) 磯浜海岸における付着動物相と底質特性に関する現地調査
 ……井上雅夫・島田広昭・桜井秀忠・端谷研治……177
- (32) 横浜市平潟湾野島水路開放に伴う生物動態調査
 ……柵瀬信夫・林 文慶・越川義功・中村華子・工藤孝浩・
 関口昌幸・相原健彦・早川厚一郎・村橋克彦……183
- (33) 海岸ミティゲーション的視点から見た北九州糸島半島におけるカプトガニ産卵地の現地踏査
 ……清野聡子・宇多高明・土屋康文・日野明日香……189
- (34) 水底トンネル押し出し工法の開発
 ……伊藤一教・東江隆夫・織田幸伸・勝井秀博・和田憲治・内藤正光……195
- (35) 阿字ヶ浦海岸漂砂観測用棧橋の撤去工事と腐食・防食調査 ……山本幸次・笠井雅広・佐藤慎司……201
- (36) 矢板式係船岸の施工中の変形挙動の数値解析 ……大槇正紀・佐伯公康・鹿田正一・馬場慎太郎……207
- (37) 磁気伝送による埋立地盤沈下計測システム ……木原 力・沖 政和・大前延夫……213
- (38) ケーソンマウンド基礎防護ネットの安定性および耐久性に関する研究
 ……佐藤孝夫・今井 誠・北村卓也……219
- (39) 底開・全開バージョンによる土砂投入形状の現地比較実験
 ……荒井 清・太田正規・五明美智男・矢内栄二・松見吉晴……225
- (40) 砂粒径分布の画像解析手法の開発 ……青柳 明・田中勝也・香取完和・久保田進・竹澤三雄……231
- (41) 水中不分離性コンクリートに及ぼす混和材の影響 ……梅村靖弘・山崎貴之・原田 宏……237
- (42) 汚濁防止膜による流況制御に関する研究 ……小野正順・安井章雄・有光 剛・出口一郎……243
- (43) 衰耗したチェーンに関する応力集中の解析 ……内海秀幸・関田欣治・新田 宏……249
- (44) 係留アンカーの把駐力特性の検討 ……前野賀彦・石川元康・熊谷裕児・村川 博……255
- (45) 北海道東方沖地震により被害を受けた漁港岸壁の変形解析
 ……神原一雄・田中則男・服部和憲・林 克恭・鈴木將之……261
- (46) 島嶼県沖縄における耐震強化岸壁の設計 ……親泊正孝……267
- (47) 軟弱地盤における地中内鋼矢板の変形解析 ……鶴田則夫・林 克恭・奥野正洋……273
- (48) 根固め矢板による重力式岸壁の耐震補強工法の開発
 ……北澤杜介・真鍋昌司・秋山義信・三藤正明・龍田昌毅……279
- (49) 杭基礎上のケーソン岸壁の地震時応答に及ぼす杭長の影響について ……高谷富也・前野賀彦……285
- (50) 多層マウンド上のケーソンと波の非線形相互作用に関する研究
 ……水谷法美・モスタファアイマン……291
- (51) PIVによる人工リーフ上砕波時の速度ベクトル場に関する実験的研究
 ……石田 啓・斎藤武久・大坪英継……297
- (52) 一定水深域に設置された潜堤による不規則波の砕波について
 ……許 東秀・川嶋直人・松本幸久・岩田好一朗・富田孝史・水谷法美……303
- (53) 矩形ステップ上の不規則波の非線形挙動に関する実験的研究 ……合田良実・牧野トモ子……309
- (54) 粒子法による透水斜面上の砕波・遡上過程の数値シミュレーション
 ……後藤仁志・酒井哲郎・沖 和哉……315

- (55) 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究 —VOF 法基本プログラムの作成—
 ……磯部雅彦・高橋重雄・余 錫平・榊山 勉・藤間功司・
 川崎浩司・蔭 勤・秋山 実・大山洋志……321
- (56) 太平洋南岸の極値波高統計の母分布関数について ……合田良実・竹下直樹・永井紀彦……327
- (57) 観測データによる大阪湾における高潮と高波の同時生起特性
 ……國富將嗣・高山知司・間瀬 肇・吉岡 洋……333
- (58) 透過堤を含む港湾域の高波分布の算定法に関する研究 ……中村孝幸・佐伯信哉……339
- (59) 非線形分散波浪モデルの予測精度評価と線形波浪モデルとの接続
 ……申 承鎬・高畑栄治・入江 功・村上啓介……345
- (60) 波変形解析のための波・流れ共存場のモデル化
 ……モハマド モヒウアイン・富樫宏由・平山康志……351
- (61) 潜堤上の構造物に作用する波力の特性と Morison 式の適用性に関する研究
 ……水谷法美・許東 秀・米勢嘉智・倉田克彦・遠藤正男・岩田好一郎……357
- (62) 大型栈橋式構造物に作用する多方向不規則波による揚圧力
 ……高橋俊彦・池谷 毅・滝本邦彦・宮本久士……363
- (63) 消波工の波力低減特性に関するブロックスケールとレイノルズ数の効果
 ……井田康夫・萩原照史・中村晋太郎・森松芳隆……369
- (64) 衝撃碎波力の数値解析
 ……渡部靖憲・松本靖治・早川哲也・王 毅・大塚淳一・安原幹雄・佐伯 浩……375
- (65) 孤立波に対する無保留半潜水型浮体構造物の運動応答に関する実験的研究
 ……飯塚智樹・新井信一・長尾昌朋・上岡充男……381
- (66) 小口径円柱に作用する多方向不規則波の波力と波力算定式に関する実験的研究
 ……水谷法美・吉田幸一・栗本あかね・川嶋直人・岩田好一郎……387
- (67) 水中トンネルの二自由度フラッター振動応答特性 ……飯島 徹・佐藤靖尚・近藤俣郎・大塚夏彦……393
- (68) 波動場中の円柱近傍の流れ構造に関する数値解析 ……佐藤幸雄・濱中建一郎……397
- (69) 長期観測データに基づく石狩湾沿岸の流動特性
 ……福本 正・橋本 剛・新山雅紀・星 秀樹・山下俊彦……403
- (70) 津波時の港内流況の可視化計測 ……大谷英夫・小林昭男・高尾 誠・藤井直樹・大森政則……409
- (71) 海底に落下する密度噴流の拡散現象 ……新井信一・長尾昌朋・上岡充男・新井孝法……415
- (72) 混気圧送における液相スラッグの生成流動に関する研究 ……鈴木理仁・落合 実・遠藤茂勝……421
- (73) 潮位変動を考慮した海水交換型防波堤の開発 ……川嶋直人・中村昭男・早瀬松一……427
- (74) 衝立パネル式ケーソンの海水交換特性に関する実験的研究
 ……島田 潔・松原直哉・吉村 正・神瀬 哲……433
- (75) 開口突出管付透過式防波堤の水理特性に関する研究 —開口突出管内の流速特性について—
 ……橋本 剛・多田彰秀・糸洸長敬……439
- (76) 秋田県金浦漁港における海水交換を目的とした防波堤の効果
 ……国金博和・三橋宏次・鹿田正一・政所 亮・三浦 浩・高橋隆二……445
- (77) 千葉県九十九里浜一松海岸の侵食実態と今後の対策の方向性 ……宇多高明・西村 晋・国栖広志……451
- (78) 島の背後に伸びた砂州 (comet tail) の形状と卓越波向の関係 —北九州の姫島, 間島を例として—
 ……宇多高明・清野聡子・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼……457
- (79) 茅ヶ崎海岸ヘッドランド東側地区での浜崖形成機構の現地調査
 ……宇多高明・坂本 坦・田代由貴・西村 晋……463
- (80) 伊良湖西の浜海岸の海岸過程に関する考察 —その続報—
 ……村上宗隆・金田研一郎・岩田好一郎……469
- (81) 石狩湾新港における防波堤周辺の高波変形について ……戸巻昭三・竹沢三雄……475
- (82) 現地踏査による福島県久ノ浜・四倉・夏井海岸の海岸保全上の問題点の整理
 ……芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・宇多高明・清野聡子・
 渡辺宗介・田子洋一・平野宜一……481

- (83) デンマークおよびスウェーデンの海岸事情について
 ……西隆一郎・宇多高明・長谷川準三・佐藤道郎……487
- (84) 斜め空中写真を用いたサンゴ礁海岸の地形特性の判読
 ……大中 晋・宇多高明・遠藤秀文・芹沢真澄……493
- (85) 珊瑚礁リーフ海域における人工海浜の安定化に関する検討………平山克也・丸山晴広・平石哲也……499
- (86) 非対称振動流場での地形侵食速度に関する実験的研究
 ……山下俊彦・金子寛次・新山雅紀・永田晋一郎……505
- (87) 砂面安定用マット周辺の流れと漂砂………伊福 誠・林 秀郎……511
- (88) お台場海浜公園の海浜変形とその保全に関する一考察
 ……石川仁憲・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・宇多高明・清野聡子・渡辺宗介……517
- (89) 緩傾斜護岸に係わる様々な問題点の整理
 ……宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・清野聡子……523
- (90) 青森県三沢漁港周辺の海浜変形の現地踏査と今後の侵食対策に関する考察
 ……宇多高明・清野聡子・渡辺宗介・芹沢真澄・三波俊郎……529
- (91) 閉じた漂砂系での離岸堤設置に伴う周辺海岸での海岸侵食とその防止策の検討
 ……三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼・宇多高明・鯨谷純夫・高野泰隆・
 大木康弘・賀上祐二・神田康嗣・五十嵐竜行……535
- (92) 北部九州の防風林海岸地区における空気中海塩粒子の分布に関する計測調査………片山正敏……541
- (93) オホーツク海における原油流出事故による被害予測
 ……大塚夏彦・大島香織・宇佐美宣拓・多田英彦・米田克幸・
 高橋伸次郎・佐伯 浩……547
- (94) 流出した原油の回収に関する基礎的実験
 ……高橋伸次郎・米田克幸・大島香織・大塚夏彦・佐伯 浩……553
- (95) 氷盤下にトラップされた流出原油の氷盤中への滲透
 ……大島香織・大塚夏彦・石川博基・高橋伸次郎・渡部靖憲・
 橋 治国・佐伯 浩……559
- (96) 低温条件下における流出原油の変質過程と粘度の簡易測定法
 ……大島香織・大塚夏彦・石川博基・宇佐美宣拓・米田克幸・佐伯 浩……565
- (97) 氷盤に閉ざされた重力式海洋構造物まわりの地震時動水圧の特性
 ……森田知志・西垣 亮・小林 浩……571
- (98) 氷荷重に与える構造物の剛性影響………亀崎一彦・山内 豊……577
- (99) 縦置き氷板による鉛直壁構造物の破壊モード観察………亀崎一彦・山内 豊……583
- (100) 鉛直壁構造物に作用する1年リッジ荷重の推定………亀崎一彦・山内 豊・島崎克教……589
- (101) サハリン沖における1年性リッジの形状とその設計氷荷重に対する影響………加藤一行……595
- (102) 海洋構造物に作用する鉛直方向氷荷重の算定方法に関する研究
 ……寺島貴志・成田恭一・大島香織・宇佐美宣拓・佐伯 浩……601
- (103) 複数破壊領域における氷荷重の推定法に関して
 ……竹内貴弘・佐々木幹夫・赤川 敏・河村宗夫・酒井雅史・
 松下久雄・寺島貴志・中沢直樹・木岡信治・佐伯 浩……605
- (104) 海底地盤と海水の相互作用に関する基礎的研究
 ……木岡信治・阿部慎也・佐々木久昭・浜名靖博・佐伯 浩……611
- (105) 海水と諸材料間の凍着強度に関する実験的研究
 ……宇佐美宣拓・寺島貴志・阿部慎也・佐藤光一・佐伯 浩……617
- (106) 海水制御用アイスブームに作用する氷力の作用形態
 ……蒔田俊輔・榎 国夫・宇佐美宣拓・原 文宏・佐伯 浩……623
- (107) 野外実験における一年氷の基本強度特性について
 ……酒井雅史・松下久雄・高脇 透・河村宗夫・寺島貴志・竹内貴弘・佐伯 浩……629

- (108) 相良海岸の将来を考える公開討論会「オーシャンセミナー」について —合意形成のために—
 ……宇多高明・堀口瑞穂・石川仁憲・清野聡子・渡辺宗介・芹沢真澄・
 三波俊郎・古池 鋼・五味久昭……635
- (109) 学際学科における海岸実習 —お台場人工海浜の自然的・社会的仕組みを学ぶ—
 ……清野聡子・渡辺宗介・萩谷 宏・池内幸介・猪内 学・木村 宰・
 峠井正雄・外山 大・松本泰輔・宇多高明・石川仁憲……641
- (110) 漁村の女性に関する問題点と漁港漁村整備………児玉いずみ・松本卓也・中内 勲・長野 章……647
- (111) 日本の大学における海洋教育科目の分野分布特性………赤見朋晃・和田理恵・清野聡子・濱田隆士……653
- (112) CVMによる新潟海岸の環境整備便益の計測
 ……今村能之・佐藤慎司・笠井雅広・齋藤 明・原 文宏・平野宜一……659
- (113) 海岸災害における精神的被害に関する調査
 ……今村能之・川瀬宏文・伊藤泰広・佐藤慎司・笠井雅広・諸田 勇・平野宜一……665
- (114) 消波室内水深を浅くした複数スリット壁直立消波工の消波機能 —BIM解析—
 ……角野昇八・塩崎禎郎・原山之克……671
- (115) スリットを有する複断面護岸の反射特性と越波量低減効果について
 ……劉 非・村上啓介・杉尾 哲……677
- (116) 大波浪透過スリットケーソン防波堤の機能特性に関する実験的研究
 ……佐藤恒夫・安部 賢・國重康弘・込山 清・村本哲二……683
- (117) 上部スリット式護岸の越波特性について………北野正夫・八木典昭・岡村英貴・目見田哲……689
- (118) 没水型鉛直板近傍の波浪流に関する基礎研究………落合 実・鈴木 功・遠藤茂勝……695
- (119) 緩傾斜堤への波の打ち上げ高さ及び遡上特性に関する現地観測値の基礎的検討
 ……高橋敏彦・沼田 淳……701
- (120) 傾斜堤の越波量等に及ぼす被覆ブロックと上部工の影響
 ……高橋重雄・下迫健一郎・近藤充隆・山口貴之……707
- (121) 後部パラペット堤の越波特性と背後マウンド部の安定性
 ……早川哲也・木村克俊・林 忠志・土井善和・渡部靖憲……713
- (122) 通水路を有する透過性防波堤に関する研究………森田修二・出口一郎……719
- (123) 非越波型護岸の高波浪域への適用における消波工形式の基礎的検討
 ……片岡保人・市川靖生・大谷 修・上久保祐志・村上啓介・入江 功……725
- (124) 超透過性消波工の開発に関する実験的研究 —スペクトル波の分布幅の影響—
 ……伊藤政博・鈴木秀孝・野口雄二・前田 建・谷山正樹……731
- (125) 海上移動式防災支援基地の研究………山本和宏・関田欣治……737
- (126) 離岸流にともなう海水浴中の事故発生に関する一考察
 ……高橋重雄・常数浩二・鈴木高二朗・西田仁志・土棚 毅・
 小林雅彦・小沢保臣……743
- (127) 海区の特性を考えた漁港漁村の将来見通しと具体的課題の設定について
 ……古屋温美・紀本則晃・中内 勲・富田 宏・長野 章……749
- (128) 海岸護岸施設の景観評価に関する研究………松原雄平・永瀬恭一・木田健二・野田英明……755

Proceedings
of
Civil Engineering in the Ocean
Vol. 15 (1999)

CONTENTS

Special Lecture

Nutrient Load from Aquaculture on Water Bobies and Possibility of
Closed Recirculating Systems for Intensive Aquaculture

Toshiroh Maruyama and Yoshihiro Suzuki

- (1) Study on Hydraulic Characteristics of Flaring Shaped Seawall in Deepwater..... 1
Keisuke Murakami, Yasuto Kataoka, Naoto Takehana, Hiroshi Konagano and Yuji Kamikubo
- (2) Wave Reflection and Transmission about a Gravity-type
Curtain-walled Breakwater for Irregular Waves.....7
Takayuki Nakamura, Fumihiko Nakamura, Shouji Kawabe,
Nukuto Inoue and Mutumi Morimoto
- (3) Performance of a Double-curtain-walled Breakwater with a Front Wall of Inclined Plate Array13
Takayuki Nakamura, Hiromi Kamikawa, Tohru Kohno and Kazunori Makimoto
- (4) Hydraulic Model Test on Wave Overtopping for Composite-type Seawalls
with Low Crown Height.....19
Koji Iwase, Tsuyoshi Ikeya, Shoichi Abe and Hayato Notoya
- (5) Study on Basic Characteristics of Non-wave-overtopping Type Seawall in Shallow Water25
Yuji Kamikubo, Isao Irie, Keisuke Murakami, Kazunori Kanda,
Yasuto Kataoka and Yoshihiro Hamazaki
- (6) Nationwide Survey on Damages due to Wave Overtopping31
Fuminori Kato, Masahiro Kasai, Shinji Sato and Yoshiyuki Imamura
- (7) Damage Characteristics of Sea Walls due to Scoring37
Tomotsuka Takayama, Hajime Mase, Tomohiro Yasuda and Masao Inoue
- (8) Experimental Study on Damage Structure of a Layer Armor Block of Gentle Slope-type
Coastal Dike43
Keiko Ohta
- (9) Effect of Uncertainty in Wave Direction on Sliding Failure Probability of Breakwater Caisson.....47
Hiroyasu Kawai
- (10) Sliding Phenomena of the Caisson Breakwater placed at the Offshore Edge
of Breaker Zone and Anti-sliding Method53
Tsuyoshi Ikeya, Hitoshi Urushiyama and Kunihiko Takimoto
- (11) Experimental Study on Stability of Armor Stones of Composite Mound59
Teruhiko Sugino, Kiyoshi Furuta, Kenichiro Kaneta and Kaname Yoshida
- (12) Dynamic Movement of Pontoon Type Floating Structure with Flat Plates.....65
Takeshi Takemura, Minoru Ochiai and Shigekatsu Endo
- (13) Low Frequency Motions of Floating Body with Asymmetric Moorings71
Shinkichi Tanigaki and Masahiko Ozaki
- (14) Field Observation on Long-period Motions of Moored Vessel and its Numerical Simulation77
Katsuyuki Asazaki, Norichika Matsuo, Akiyuki Ukai, Yoichi Moriya and Masanori Tsugane

(15)	Long Period Oscillation of Fluid Velocity behind Submerged Breakwater caused by Absorbing Wave Generator	83
	Masaru Yamashiro, Akinori Yoshida, Isao Irie and Hiromitsu Oti	
(16)	Basic Research on the Planning and the Operation of Mooring Equipment at Container Terminals that faces the Open Sea	89
	Satoru Shiraishi and Kenji Sasa	
(17)	Low Frequency Waves on a Beach Facing Open Sea (Field Measurements at Hazaki Oceanographical Research Facility)	95
	Yoshinaga Setoguchi, Toshiyuki Asano and Kazuo Nakamura	
(18)	Development of Artificial Tide Pool Units	101
	Akira Watanuki, Norikazu Hirose, Minoru Hasegawa, Kunimasa Takahashi and Akira Hurusawa	
(19)	Field Measurement on Fundamental Characteristics of Acoustic Environment in Northern Kyushu Coastal Zone	107
	Masatoshi Katayama	
(20)	Development of an Environmental Impact Assessment Model for Large Marine Structures	113
	Masahiro Tanaka, J. van Kester, Tsuyoshi Ikeya and Kunihiko Takimoto	
(21)	Prediction of Benthic Animal by Cell Automaton	119
	Yasushi Ichimura, Yuhei Matsubara and Hideaki Noda	
(22)	Experimental Study on the Effects of Drift Sand on the Consumption of Algae by Sea Urchin	125
	Toshihiko Yamashita, Kazuhiro Takahashi, Hirotsugu Kaneko, Hiroaki Mine and Yukio Tubota	
(23)	Experimental Study on On-offshore Movement of Sea Urchin (<i>Strongylocentrotus Nudus</i>) due to Waves	131
	Hisami Kuwahara, Shigeru Kawamata, Kazuhiro Takahashi and Toshihiko Yamashita	
(24)	Study on the Conditions of Making Habitats of Seeding —Flow Tolerance and Burrowing Ability of Japanese Flounder <i>Paralichthys olivaceus</i> —	135
	Masabumi Seto, Yoshiyuki Takaya and Norito Makiguchi	
(25)	Study on the Zonation of Macro Algae. II. —Vertical Distribution and Photo-environments in <i>Eisenia bicyclis</i> Setchell and <i>Ecklonia cava</i> Kjellman—	141
	Akihito Sugawara, Teruhisa Komatsu, Masabumi Seto and Hiroo Satoh	
(26)	Evaluation on Effect of Breakwater in Consideration of Seaweed Bed Formation in Hamada Fishing Port	147
	Makoto Sami, Koji Mituhashi, Shoichi Shikada, Takashi Nakanishi, Masahiko Katube and Hiroshi Terashima	
(27)	Study on Drift Algal Trap Works by Hydraulic Model Test	153
	Hiroshi Hasegawa	
(28)	The Possibility of Coastal Structures as a Fish Spawning Ground —Case of Sandfish—	159
	Kimihiro Ito, Sinitirou Nagata, Ken Tumura and Kenji Yano	
(29)	Sea Weed Bed Formation in an Isoyake Region in Coastal Areas of the Japan Sea, Hokkaido —Seaweed Bed Formation by Removing Sea Urchin Grazing Pressure—	165
	Norikazu Hirose, Akira Watanuki, Syouji Kawashima, Masamichi Saiki and Syuji Kitao	
(30)	Topographic Features of a Sandspit and Ebb Tidal Flat on Natsume Coast in Kasaoka City in View of Habitat of Horseshoe Crab <i>Tachypleus tridentatus</i>	171
	Yasufumi Tsuchiya, Takaaki Uda, Satoquo Seino, Keiji Tsuchiya and Yoshinori Oshige	
(31)	Field Observations on Marine Organisms and Sediments in Gravel Beach	177
	Masao Inoue, Hiroaki Shimada, Hidetaka Sakurai and Kenji Hashitani	
(32)	Study on Biotic Community Succession by Opening of Nojima Waterway, Hirakata Cove, Yokohama	183
	Nobuo Sakurai, Lim Boon Keng, Yoshinori Koshikawa, Hanako Nakamura, Takahiro Kudo, Yoshiyuki Sekiguchi, Takehiko Aihara, Koichiro Hayakawa and Katsuhiko Murahashi	

(33)	Field Observation of Spawning Sites of Horseshoe Crab <i>Tachypleus tridentatus</i> in View of Mitigation in Itoshima Peninsula in Fukuoka Prefecture	189
	Satoquo Seino, Takaaki Uda, Yasufumi Tsuchiya and Asuka Hino	
(34)	New Launching Erection Method for Submerged Tunnel.....	195
	Kazunori Ito, Takao Toue, Nobuyuki Oda, Hidehiro Katsui, Kenji Wada and Masamitsu Naitou	
(35)	Removement Works and Corrosion Investigation of Coastal Observation Pier at Ajigaura Beach ...	201
	Koji Yamamoto, Masahiro Kasai and Shinji Sato	
(36)	Numerical Analysis for Deformation Behavior of Sheet-pile Quaywall under Construction	207
	Seiki Ohmaki, Kimiyasu Saeki, Shoichi Shikada and Shintaro Baba	
(37)	A New System of Reclaimed Land Settlement Observation by Magnet Electronic Flux	213
	Tsutomu Kihara, Masakazu Oki and Nobuo Omae	
(38)	Studies on Stability and Durability of a Net for a Caisson Foundation	219
	Takao Sato, Makoto Imai and Takuya Kitamura	
(39)	Field Experiment on Deposition Configuration of Earth-sand dumped from Hopper and Split Barges	225
	Kiyoshi Arai, Masanori Ota, Michio Gomyo, Eiji Yauchi and Yoshiharu Matsumi	
(40)	An Image Analysis for the Distribution of Sand Grain Size	231
	Akira Aoyagi, Katuya Tanaka, Sadakazu Katori, Susumu Kubota and Mituo Takezawa	
(41)	Effects of Admixtures on Antiwashout Underwater Concrete	237
	Yasuhiro Umemura, Takayuki Yamazaki and Hiroshi Harada	
(42)	Study of Flow Control by Silt Curtain	243
	Masanobu Ono, Akio Yasui, Tsuyoshi Arimitsu and Ichiro Deguchi	
(43)	Stress Concentration Analysis of Anchor Chains subjected to Abrasion or Corrosion	249
	Hideyuki Ustumi, Kinji Sekita and Hiroshi Nitta	
(44)	A Consideration on Holding Power of Mooring Anchors	255
	Yoshihiko Maeno, Motoyasu Ishikawa, Yuji Kumagai and Hiroshi Murakawa	
(45)	Analysis of Deformation in Fishery Harbor Quay Wall, which were damaged during 1994 East Off Hokkaido Earthquake	261
	Kazuo Kanbara, Norio Tanaka, Kazunori Hattori, Katuyasu Hayashi and Masayuki Suzuki	
(46)	The Designing of Earthquake Proof Berth in Okinawa Islands	267
	Masataka Oyadomari	
(47)	The Analysis of Underground Steel Sheet-pile Deformation by Soft Ground	273
	Norio Turuta, Katuyasu Hayasi and Masahiro Okuno	
(48)	Development of Earthquake Reinforcement Method for Gravity-type Quaywall by Sheet Pile installed at the Foot of the Caisson	279
	Sosuke Kitazawa, Shoji Manabe, Yoshinobu Akiyama, Masaaki Mitou and Masataka Tatsuta	
(49)	Effect of Pile Length on Seismic Response of Caisson Type Quay Wall resting on Pile Foundation	285
	Tomiya Takatani and Yoshihiko Maeno	
(50)	Nonlinear Interactions between Waves and a Caisson constructed over a Multi-layered Base.....	291
	Norimi Mizutani and Ayman M. Mostafa	
(51)	Measurement of Velocity Field in Breaking Waves on an Artificial Reef by PIV	297
	Hajime Ishida, Takehisa Saitoh and Hidetsugu Ohira	
(52)	A Study on Breaking of Multi-directional Random Waves due to a Submerged Breakwater	303
	Dong Soo Hur, Naoto Kawashima, Yukihisa Matsumoto, Koichiro Iwata, Takashi Tomita and Norimi Mizutani	
(53)	Experimental Investigations on Nonlinear Behavior of Random Waves on a Rectangular Step	309
	Yoshimi Goda and Tomoko Makino	

(54)	Numerical Simulation of Wave Breaking and Swash on Permeable Uniform Slope	315
	Hitoshi Gotoh, Tetsuo Sakai and Kazuya Oki	
(55)	Interim Development of a Numerical Wave Flume for Maritime Structure Design	321
	M. Isobe, S. Takahashi, S. P. Yu, T. Sakakiyama, K. Fujima, K. Kawasaki, Q. Jiang, M. Akiyama and H. Ohyama	
(56)	On the Parent Distribution of Extreme Wave Heights along the Southern Pacific Coast of Japan ...	327
	Yoshimi Goda, Naoki Takeshita and Norihiko Nagai	
(57)	Characteristics of the Simultaneous Occurrence of Maximum Storm Surge and Wave by Using the Field Data in Osaka Bay	333
	Shoji Kunitomi, Tomotsuka Takayama, Hajime Mase and Hiroshi Yoshioka	
(58)	A Numerical Computation Method on Wave Height Distribution in a Harbor with Permeable Breakwaters	339
	Takayuki Nakamura and Shinya Saeki	
(59)	Evaluation of Suitability for Non-linear Dispersive Wave Model and a Numerical Method by Connection with Linear Wave Model	345
	Seung-ho Shin, Eiji Takabatake, Isao Irie and Keisuke Murakami	
(60)	Modeling Wave-current Coexistence Field for Wave Transformation	351
	Mohammad Mohiuddin, Hiroyoshi Togashi and Yasushi Hirayama	
(61)	Wave Forces on a Structure installed on a Submerged Breakwater and Applicability of Morison Equation	357
	Norimi Mizutani, Don-Su Hur, Yoshitomo Yonese, Katsuhiko Kurata, Masao Endoh and Koichiro Iwata	
(62)	Uplift Pressures acting on Large Pier Structures by Multi-directional Random Waves	363
	Toshihiko Takahashi, Tsuyoshi Ikeya, Kunihiko Takimoto and Hisashi Miyamoto	
(63)	Effect of Block Scale and Reynolds Number on Wave Force Reduction by Wave Absorbing Works	369
	Yasuo Ida, Teruo Hagihara, Shintaro Nakamura and Yoshitaka Morimatu	
(64)	Numerical Simulation of the Impact Breaking Wave Force acting on the Break Water	375
	Yasunori Watanabe, Yasuharu Matsumoto, Tetsuya Hayakawa, Yi Wang, Jun-ichi Ohtsuka, Mikio Yasuhara and Hiroshi Saeki	
(65)	Experimental Study on Motions of a Freely Floating Semi-submersible Structure in Soritary Wave	381
	Tomoki Iizuka, Shinichi Arai, Masatomo Nagao and Mitsuo Kamioka	
(66)	Estimation Method and Characteristics of Wave Force on a Small-diameter Cylinder in Directional Waves	387
	Norimi Mizutani, Yukikazu Yoshida, Akane Kurimoto, Naoto Kawashima and Koichiro Iwata	
(67)	Characteristics of Vibration Response caused by Stall Flutter for S.F.T (Submerged Floating Tunnel)	393
	Toru Iijima, Yasuhisa Sato, Hideo Kondo and Natsuhiko Otuka	
(68)	Numerical Analysis for Flow Structure around a Circular Cylinder in Water Waves	397
	Yukio Sato and Ken-ichiro Hamanaka	
(69)	Seasonal Characteristics of Long-period Currents Fluctuation in Ishikari Bay	403
	Tadashi Fukumoto, Tsuyoshi Hashimoto, Masaki Niiyama, Hideki Hoshi and Toshihiko Yamashita	
(70)	Visualization of Flow Pattern of Tsunami in a Harbor	409
	Hideo Ohtani, Akio Kobayashi, Makoto Takao, Naoki Fujii and Masanori Ohmori	
(71)	Diffusion of a Buoyant Jet Falling on the Bed Floor	415
	Shinichi Arai, Masatomo Nagao, Mitsuo Kamioka and Takanori Arai	
(72)	Fluidity Characteristics of Water Slug Flow caused by Compressed Air in Horizontal Pipe Flow ...	421
	Yoshihito Suzuki, Minoru Ochiai and Shigekatsu Endo	

- (73) The Development of the Seawater-exchange Breakwater to consider Tide Level Change427
Naoto Kawashima, Akio Nakamura and Syoichi Hayase
- (74) Experimental Investigations on Water-exchange Performance of a Caisson with a Front Panel433
Kiyoshi Shimada, Naoya Matsubara, Tadashi Yoshimura and Tetsu Kamise
- (75) Hydraulic Characteristics of the Permeable Breakwater with a Cylindrical Shaped Projecting
Tube for Seawater Exchange439
Tsuyoshi Hashimoto, Akihide Tada and Chyohei Itosu
- (76) Effect of Breakwater for Exchange of Seawater at Konoura Fishing Port in Akita Prefecture445
Hirokazu Kunikane, Koji Mituhashi, Syoiti Shikata, Akira Mandokoro,
Hiroshi Miura and Ryuji Takahashi
- (77) Erosion of Hitotsumatsu Beach on Kujukuri Coast and Future Measures against Beach Erosion ...451
Takaaki Uda, Susumu Nishimura and Hiroshi Kunisu
- (78) Relation between Configuration of Comet Tail formed behind an Island and Predominant
Wave Direction
— The Example of Himeshima and Mashima Island in Northern Kyushu —457
Takaaki Uda, Satoquo Seino, Toshiro San-Nami, Masumi Serizawa and Kou Furuike
- (79) Field Investigation of Formative Mechanism of Scarp around Headland on Chigasaki Coast in
Kanagawa Prefecture463
Takaaki Uda, Hiroshi Sakamoto, Yuki Tashiro and Susumu Nishimura
- (80) On the Coastal Processes in Irago-Nishinohama Beach469
Noritaka Murakami, Kenichiro Kaneda and Koichiro Iwata
- (81) On Beach Changes around Breakwater in the New Port of Ishikari Bay475
Shozo Tomaki and Mitsuo Takezawa
- (82) Some Notes of Shore Protection of Hisanohama, Yotsukura and Natsui Coasts
in Fukushima Prefecture based on Field Observation481
Masumi Serizawa, Toshiro San-Nami, Koh Furuike, Takaaki Uda, Satoquo Seino,
Sosuke Watanabe, Yoichi Tago and Giichi Hirano
- (83) Coastal Geomorphology, Coastal Protection, and Management in Denmark and Sweden487
Ryuichiro Nishi, Takaaki Uda, Junzo Hasegawa and Michio Sato
- (84) Field Observation of Coral Coasts by Oblique Aerial Photographs493
Susumu Onaka, Takaaki Uda, Shubun Endo and Masumi Serizawa
- (85) Experimental Study on Stabilization of Artificial Beach in Coral Reef499
Katsuya Hirayama, Haruhiro Maruyama and Tetsuya Hiraishi
- (86) Experimental Study on the Local Erosion Velocity due to Asymmetry Oscillatory Flow505
Toshihiko Yamashita, Hirotugu Kaneko, Masaki Niiyama and Shinichiro Nagata
- (87) Flow and Sand Drift around Sand-control Mat511
Makoto Ifuku and Hidero Hayashi
- (88) Beach Changes in Odaiba Coastal Park and Shore Protection517
Toshinori Ishikawa, Masumi Serizawa, Toshiro San-Nami, Kou Furuike
Takaaki Uda, Satoquo Seino and Syusuke Watanabe
- (89) Issues regarding Gently-sloping Coastal Revetment523
Takaaki Uda, Masumi Serizawa, Toshiro San-Nami, Kou Furuike and Satoquo Seino
- (90) Field Observation of Beach Changes around Misawa Fishery Harbor and Future Measure
against Beach Erosion529
Takaaki Uda, Satoquo Seino, Shusuke Watanabe, Masumi Serizawa and Toshiro San-Nami
- (91) Beach Erosion induced by Construction of Detached Breakwaters in a Pocket Beach of
a Closed Littoral Cell and its Preventive Measures535
Toshiro San-Nami, Masumi Serizawa, Kou Furuike, Takaaki Uda, Sumio Namasuya,
Tairyu Takano, Yasuhiro Ohki, Yuji Kagami, Yasutsugu Kanda and Tatsuyuki Igarashi

(92)	Field Measurement of Aerial Distribution of Sea-salt Particles in Northern Kyushu Windbreak Forest Coastal Zone	514
	Masatoshi Katayama	
(93)	Assessment for Economical Impacts on Fisheries by Oil Spill in the Sea of Okhotsk	547
	Natsuhiko Otsuka, Kaori Ohshima, Noritsugu Usami, Hidehiko Tada, Katsuyuki Yoneda, Shinjiro Takahashi and Hiroshi Saeki	
(94)	Experimental Study on Recovery Method for Spilled Oil	553
	Shinjiro Takahashi, Katsuyuki Maida, Kaori Ohshima, Natsuhiko Ohtsuka and Hiroshi Saeki	
(95)	Permeation of Spilled Crude Oil into Sea Ice Sheet	559
	Kaori Ohshima, Natsuhiko Ohtsuka, Hiroki Ishikawa, Shinjiro Takahashi, Yasunori Watanabe, Naokuni Tatibana and Hiroshi Saeki	
(96)	Process of Characteristic Change of Spilled Crude Oil and Simplified Measurement Technique for Viscosity	565
	Kaori Ohshima, Natsuhiko Ohtsuka, Hiroki Ishikawa, Norihiro Usami, Katsuyuki Maida and Hiroshi Saeki	
(97)	Hydrodynamic Pressure on Icebound Offshore Structure during Earthquakes	571
	Satoshi Morita, Makoto Nishigaki and Hiroshi Kobayashi	
(98)	Ice Loads as a Function of Structure Stiffness	577
	Kazuhiko Kamesaki and Yutaka Yamauchi	
(99)	Indentation Test with Vertically Placed Ice Sheet	583
	Kazuhiko Kamesaki and Yutaka Yamauchi	
(100)	First Year Ridge Load Estimation on a Vertical Sided Structure	589
	Kazuhiko Kamesaki, Yutaka Yamauchi and Katsunori Shimazaki	
(101)	Morphology of a First-year Ridge and its Influence on Design Ice Loads at Offshore Sakhalin	595
	Kazuyuki Kato	
(102)	Study on Vertical Ice Loads Act on Pile Structures	601
	Takashi Terashima, Kyo-ichi Narita, Kaori Ohshima, Norihiro Usami and Hiroshi Saeki	
(103)	Ice Load of Multi Ice Failure Zones	605
	Takahiro Takeuchi, Mikio Sasaki, Satoshi Akagawa, Muneo Kawamura, Masafumi Sakai, Hisao Matsushita, Takashi Terashima, Naoki Nakazawa, Nobuharu Kioka and Hiroshi Saeki	
(104)	Basic Study on Interaction between Sea Ice and Sea Bed	611
	Shinji Kioka, Shinya Abe, Hisaaki Sasaki, Yasuhiro Hamana and Hiroshi Saeki	
(105)	Experimental Study on Adfreeze Bond Strength between Sea Ice and Various Materials	617
	Norihiro Usami, Takashi Terashima, Shinya Abe, Koichi Sato and Hiroshi Saeki	
(106)	Mode of Ice Load acting on Ice Boom for Ice Control	623
	Shunsuke Makita, Kunio Enoki, Norihiro Usami, Humihiro Hara and Hiroshi Saeki	
(107)	Strength Characteristics of the Ice Sheet (First-year Sea Ice) in Field Indentation Tests	629
	Masafumi Sakai, Hisao Matsushita, Toru Takawaki, Muneo Kawamura, Takashi Terashima, Takahiro Takeuchi, Hiroshi Saeki	
(108)	Public Hearing 'Ocean Seminar' to Discuss Future of Sagara Coast - To Form Public Consensus -	635
	Takaaki Uda, Mizuho Horiguchi, Toshinori Ishikawa, Satoquo Seino, Syusuke Watanabe, Masumi Serizawa, Toshiro San-Nami, Kou Furuike and Hisaaki Gomi	
(109)	A Trial of Field Education for Undergraduate Students in Multi-disciplinary Sciences to Learn Natural and Social Systems of Artificial Beach in Odaiba Park	641
	Satoquo Seino, Syusuke Watanabe, Hiroshi Hagiya, Kosuke Ikeuchi, Manabu Inouchi, Osamu Kimura, Masao Tanoi, Hiroshi Toyama, Taisuke Matsumoto, Takaaki Uda and Toshinori Ishikawa	
(110)	The Problems of Women in Fishing Villages in Relation to Improvement of Fishery Ports and Facilities	647
	Izumi Kodama, Takuya Matsumoto, Isao Nakauchi and Akira Nagano	

(111)	Distributional Characteristics of Scientific Fields of the Curriculums for Marine Education in the Universities of Japan	653
	Tomoaki Akami, Rie Wada, Satoquo Seino and Takashi Hamada	
(112)	CVM Estimation of the Benefit of Beach Preservation from Environmental Aspects	659
	Yoshiyuki Imamura, Shinji Sato, Masahiro Kasai, Akira Saito, Fumihito Hara and Giichi Hirano	
(113)	Investigation of Intangible Damage about Coastal Disaster	665
	Yoshiyuki Imamura, Hirofumi Kawase, Yasuhiro Itou, Shinji Sato, Masahiro Kasai, Isamu Morota and Giichi Hirano	
(114)	The Effect of the Depth of Wave Chambers of a Double Slit-wall Breakwater on Wave Reflection	671
	Shohachi Kakuno, Yoshio Shiozaki and Yukikatsu Harayama	
(115)	Wave Reflection and Overtopping due to a Composite Seawall with Slits	677
	Fei Liu, Keisuke Murakami and Satoru Sugio	
(116)	An Experimental Study of a Multiple-slit-wall Caisson Breakwater for Rough Seas	683
	Tsuneo Satoh, Ken Abe, Yasuhiro Kunishige, Kiyoshi Komiyama and Tetsuji Muramoto	
(117)	Wave Overtopping of Block Mound Seawalls with Slit Walls	689
	Masao Kitano, Noriaki Yagi, Hideki Okamura and Tetsu Memita	
(118)	Fundamental Study on Wave-induced Current near Submerged Wall	695
	Minoru Ochiai, Isao Suzuki and Shigekatsu Endo	
(119)	The Basic Examination of Field Observation Values of Wave Run-up Height for Gentle-slope Sea Dike	701
	Toshihiko Takahashi and Atsushi Numata	
(120)	Effect of Armor Layer and Crown Wall on Wave Overtopping of Rubble Mound	707
	Shigeo Takahashi, Kenichiro Shimosako, Mitsutaka Kondoh and Takayuki Yamaguchi	
(121)	Stability of Armor Units on a Harbor-side Mound against Wave Overtopping with Backward Parapets	713
	Tetsuya Hayakawa, Katsutoshi Kimura, Tadashi Hayashi, Yoshikazu Doi and Yasunori Watanabe	
(122)	Study on the Breakwater with Channel	719
	Syuuji Morita and Ichirou Deguchi	
(123)	Experimental Study on Wave Dissipating Structure for Flare Shaped Seawall in Rough Seas	725
	Yasuto Kataoka, Yasuo Ichikawa, Osamu Otani, Yuji Kamikubo, Keisuke Murakami and Isao Irie	
(124)	Development of a New-type Wave Absorbing Works to Recreate a Sandy Beach —Effect of Spectral Distribution Width of Waves on On-offshore Sand Movement—	731
	Masahiro Ito, Hidetaka Suzuki, Yuji Noguchi, Ken Maeda and Masaki Taniyama	
(125)	A Conceptual Study on Mobile Emergency Floating Facilities for Natural Disasters	737
	Kazuhiro Yamamoto and Kinji Sekita	
(126)	A Field Investigation on Rip Currents causing Fatal Beach Swimming Accidents	743
	Shigeo Takahashi, Koji Tunekazu, Kojiro Suzuki, Hitoshi Nishida, Takashi Tsuchitana, Masahiko Kobayashi and Yasuomi Ozawa	
(127)	Prospects of and Specific Requirements for Fishing Ports and Fishing Villages in Hokkaido taking into Consideration of Regional Characteristics	749
	Atsumi Furuya, Noriaki Kimoto, Isao Nakauchi, Hiroshi Tomita and Akira Nagano	
(128)	A Study on Techniques for Aesthetic Evaluation of Coastal Landscapes	755
	Yuhei Matsubara, Kyoichi Nagase, Kenji Kida and Hideaki Noda	

特別講演

養魚場からの栄養塩負荷と閉鎖循環式養殖 への展望

NUTRIENT LOAD FROM AQUACULTURE ON WATER BOBIES AND POSIBILITY OF CLOSED RECIRCULATING SYSTEMS FOR INTENSIVE AQUACULTURE

丸山俊朗¹⁾・鈴木祥広²⁾

Toshiroh MARUYAMA, Yoshihiro SUZUKI

¹正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科(〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

²正会員 水産学博 宮崎大学助手 工学部土木環境工学科(同上)

1. はじめに

現行の主な養殖形態は、海面・内水面網生け簀養殖 (net cage culture) や、注水の大部分を排水する流水式養殖 (flowing culture) などの養殖排水を環境へ直接排出する「開放式 (the open style)」と、飼育水を処理しつつ循環し、一部換水 (すなわち排水) を伴う「循環式 (the recirculating style)」に大別される。開放式の養殖は言うまでもなく、換水を伴う多くの循環式養殖の場合にも、ほとんど未処理のまま排出している。いずれの養殖方式においても環境に配慮した負荷削減対策の程度は低いといわざるを得ない。一方で養殖排水が公共用水域への栄養塩の少なからぬ供給源になっているのではないかと危惧されてはじめてから久しい^{1,7)}。

養殖排水が原因者であることの因果関係は立証されているわけではない。しかしながら、湖沼・海域の環境基準達成率は過去10年ほど横ばいである⁸⁾。淡水系では、飲料水の原水水質が悪化し、内水面養殖場では用水量が減少し、水質が悪化して魚病の発生頻度が高まり、排水に含む病原菌が心配されている。海面養殖場では底質と水質が悪化し、魚病の発生頻度が増加し、有害・有毒植物プランクトンの発生と被害の頻度が低下していない。したがって、養殖排水について早急に調査を進め、抜本的な対策をたてる必要がある。

循環式養殖システムの研究は、主に北西ヨーロッパと北アメリカで過去10年ほどの間に急速に進められてきており⁹⁾、すでに循環方式で高密度の養殖が可能な循環式・高密度養殖システム (Recirculating system for intensive aquaculture) の技術は確立され、いくつかのシステムが開発されて実用化に至っている。しかし、換水を伴う閉鎖循環式養殖であっても負荷削減にはならない。最近ではこの技術をさらに発展させて、養殖排水を排出しない閉鎖循環式の高密度養殖システムの開発が目されてきている。この「閉鎖循環式 (the closed recirculating style)」の養殖形態は、負荷削減対策の極めて有力な選択肢の一つである。今日もなお、排水を伴わない養殖システムの実用化には至っていない。

我々が環境へのダメージを最小限度にとどめた状態で、タンパク源である魚介類を生産・供給していくためには、新しい持続可能な養殖形態に移行しなければならない。

そこで、①排水基準からみた養殖排水、②養殖排水の実態と負荷、③閉鎖循環式養殖システムの国際情勢、および④閉鎖循環式を含めた養殖システムの実例について述べることにしたい。

2. 排水基準からみた養殖排水

2.1 最近の水道水に係わる状況

養殖に関連すると考えられる水質規制関連の法令には、環境基準(平成5年制定)、改訂水質汚濁防止法に基づく排水基準(平成5年改訂)、湖沼水質保全特別措置法(平成6年制定)、琵琶湖の富栄養化防止に関する条例(昭54年)、河川法(昭和39年、近く改訂予定)、水道法(昭和32年)、水道水源保護条例(昭和63年頃より多くの地方公共団体が制定)、水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律(平成6年)、特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法(平成6年)などがあり¹⁰⁾、環境基本法の制定に基づく改

訂と水道水源の水質悪化防止と改善を目的としたものが多い。これは水道水源の水質悪化をものがたっている。

2.2 養殖排水の規制の可能性

排水規制の対象は、特定事業場から公共用水域に排出される水と地下への浸透水である。特定事業場とは、有害性物質やBOD₅(以下、BOD)やCOD_{Mn}(以下、COD)発現物質を含む汚水または廃液を排出して、生活環境の被害を生じるおそれのある施設のことである。排水基準は1日排水量が50m³以上の特定事業場に適用され、現在のところ、養魚場は特定事業場に指定されていない。指定される場合に規制の対象になる水質項目とその濃度は、BOD(許容限度濃度：160mg/l以下、日平均濃度：120mg/l以下)、COD(160, 120)、SS(200, 150)、全窒素(TN)(120, 60)、全リン(TP)(16, 8)を基本に上乘せ基準が設けられるであろう。

しかしながら、これまで上乘せ基準を含む濃度規制のみでは環境水の水質が改善されないことから、水質が改善されない湖沼や海域を持つ都道府県知事は総量削減計画を定め、特定事業場以外の排出源についても必要な指導をすることになる。この対象として、未規制業種・小規模工場排水(50m³/日未満)、小規模生活排水(501人槽未満のし尿浄化槽)、養殖漁場、畜産排水、その他、が挙げられている⁹⁾。したがって、養殖場からの負荷がそれぞれの水系における寄与度が高い場合には、総量規制制度が適用されるであろう。

国際的には、多くの国で高濃度の硝酸性窒素(NO₃-N)を含む排水が環境上および健康上の理由で規制され、養殖排水のNO₃-N濃度基準は、国によって異なるものの、ヨーロッパ共同体指令では11.6mg NO₃-N/lの低さである¹¹⁾。

2.3 水産行政サイドの対応

水産サイドでは既に終了した事業も含めて次のような事業が進められている。内水面養殖における排水対策事業¹²⁾として2事業があり「内水面漁業関係の施設整備事業」と「養魚堆積物適正処理技術開発事業」である。後者では、養魚池から排出される残餌や糞等の堆積物の処理法について平成6年度から3年計画で事業が進められた。この事業では、養殖業者が経済的に採用できる、すなわち施設費と運転維持管理費の低い施設の確立を目指している。想定されることとして次のことがらが考えられる。①できるだけ池に堆積物が出ない方法として、餌の改良、給餌方式の改善が、②堆積物を処理する方法として、機械的処理、池の構造の改善、生物学的または物理・化学的な窒素とリンの処理が、また③副産物の処理法として堆積物の肥料への活用や水の再利用が考えられている。平成9年度から5年間、この事業に、閉鎖循環式養殖と自発給餌のシステムの開発が加えられた。

海面養殖における環境対策事業¹³⁾として、既に完了した事業も含めて4事業が行われている。「養殖ガイドライン作成検討調査(平成4～6年)」、(2)「給餌養殖緊急対策調査(平成5～6年)」、「養殖漁場適正配置モデル実証事業(平成5～10年)」、および「養殖堆積物処理技術開発事業(平成6～8年)」である。四番目の事業では、養殖漁家が経済的に対処し得る適切な処理技術を開発するため、既存資料の収集及び養魚堆積物の実態調査に基づいて技術開発を行っているが有望な方法は見いだされていない、とされている。

3. 養殖排水の実態と負荷量

養殖には様々の形態がある。内水面(淡水魚)養殖には、ニジマスの流水式、コイの溜め池式あるいは網生け簀式、およびウナギの加温循環式がある。海面(海産魚)養殖には、ヒラメの流水式やハマチの網生け簀式がある。負荷量は養殖の形態によって異なる可能性がある。そこで、数種類の魚種と養殖形態について、資料をまとめて比較し、おおよその負荷原単位を求めた。負荷量を詳細に調べ、負荷原単位を求めた例は少なく、その原単位を人口等量で表した例は見当たらない。そこで、幾つかの調査例から負荷量とその人口等量(負荷量を人の原単位で除して人口に換算する)を求めた。

3.1 窒素とリンの負荷量、負荷原単位とその人口当量

(1) 淡水魚養殖における窒素とリンの負荷量

コイを供試魚とし、配合飼料を与えた場合のTNとTPの負荷量の例を図1³⁾と図2³⁾に引用した。この研究は厳しく管理された水槽実験の結果である。1kgの飼料の粗蛋白含有量を40%とすると、TN含有量は64.0gである。体外への排泄量と損失飼料のTNの合計(41.6g)は、給餌TNの65%である。TNの負荷は、主に尿と糞からの溶出によるといえる。

糞と損失飼料を速やかに回収し、糞からの溶出分がないものとすれば、65%のうち32.3%が回収され、67.7%が環境水に排出される。糞からの溶出を許せばわずか9.2%しか回収できず、実に90.8%が排出されることになる。

TPの負荷量は、TNの場合と同様に試算すると、体外への総排泄量は給餌TPの71%で、このうち68%は糞として排泄され、68%のうち30%が溶出する。溶出しないうちに糞を回収すれば、排泄される総TP71%の95.8%が回収され、わずか4.2%しか環境水に排出されない。糞からの溶出を許したとしても総排泄量の53.5%を回収できる。リンの負荷は主に糞によるといえる。

重要なことは、TNとTPの負荷量が全給餌窒素の65%と全給餌リンの71%と高いことである。

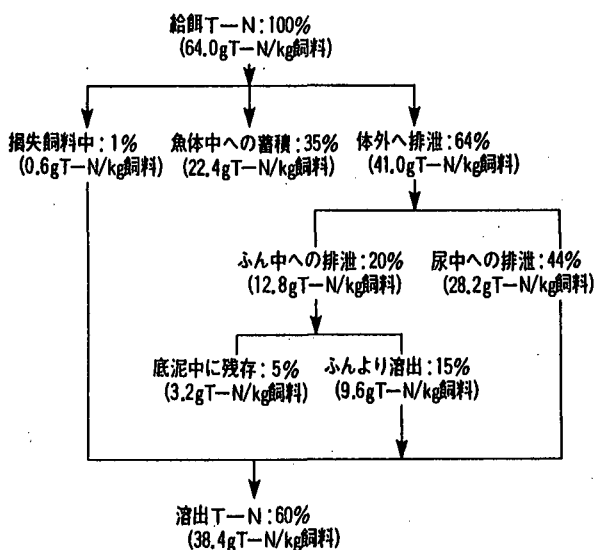


図 1

図 1 配合飼料を用いたコイにおける窒素の収支

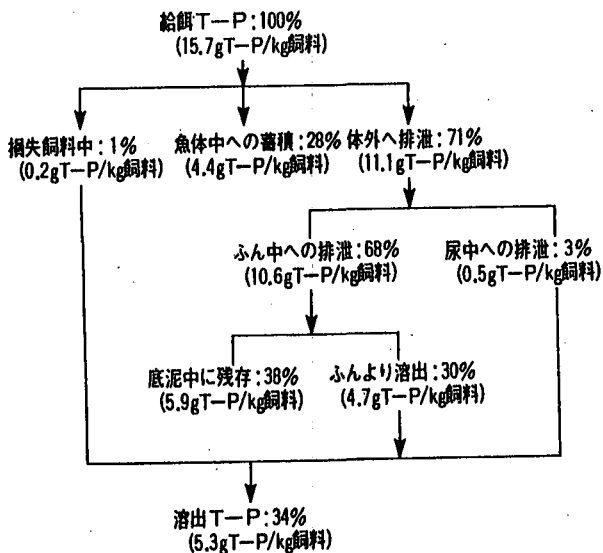


図 2 配合飼料を用いたコイにおけるリンの収支

(2) 海面生け簀養殖における窒素とリンの負荷量

サケの海面網生け簀養殖において、配合飼料を与えた場合の窒素の負荷量(体外への総排泄量)は、窒素では給餌TNの75%で、75%は溶解成分62%と懸濁物13%から成り、TNの負荷量は主に溶解成分である¹⁴⁾。リンの負荷量は、給餌TPの77%とTNとほぼ等しいが、溶解成分が11%、懸濁物が66%から成り、TPの負荷量は主に懸濁物である。また、ニジマスの海面網生け簀養殖においても、ほぼ同様でTNでは67~71%¹⁵⁾、TPでは78~82%¹⁶⁾の負荷量となっている。したがって、海面網生け簀養殖で配合飼料を与えた場合には、TNとTPの負荷量は、どちらについても総給餌量の75%程度であるとみなして良いであろう。

(3) 負荷原単位と人口当量

養殖の負荷原単位は、3つの方法で表すことができる。一つは、「単位重量の養魚が1日に排出する物質量([kg-物質/トン-養魚・日])」で表され、第2は「単位重量生産量あたりの負荷量([kg-物質/トン-生産量・養殖期間])または([kg-物質/トン-生産量・日])」で表され、第3は第2の単位と同じであるが養殖期間中の全給餌量から求める。負荷原単位と人口当量を求めてみよう。

表-1(a)は、1985年頃までに、ニジマス、ウナギ、アユ、およびコイについて得られた負荷原単位³⁾に筆者が一部加筆したものである。淡水魚の平均的なBOD、TNおよびTPの原単位は、それぞれ1.2kg/トン-養魚・日、0.88kg-TN/トン-養魚・日および0.095kg-TP/トン-養魚・日となる。これを図1と図2の値と比較する。1トンの養魚に1日当たり体重の2%の給餌をすると、TNの排泄量は図1から0.83kg-TN/トン-養魚・日となり、表1(a)の原単位0.88kg-TN/トン-養魚・日に極めて近い。同様に、TPでは0.23kg-TP/トン-養魚・日が得られ、表1(a)の値の5倍ほどになる。これは表1(a)のデータが有効リン含有量を少なくして、全体として低リン含有量の飼料を用いていたためと思われる。

一般に、工場排水や畜産排水などの負荷量は人口に置き換えて比較される。人の原単位をTNでは12g-TN/人・日、TPでは1.8g-TP/人・日、BOD₅では50g/人・日¹⁷⁾とすると、淡水養魚1トンの人口当量は、表1(a)

表-1(a) 養魚の負荷原単位

魚種	COD _{Mn} (kg/t-魚・日)	BOD ₅ (kg/t-魚・日)	TN (kg/t-魚・日)	TP (kg/t-魚・日)
ニジマス	0.5	1.0	0.2~1.0	—
ウナギ	0.2~0.7	1.0	0.4~1.0	—
アユ	1.3	1.6	1.8	—
コイ	1.0~1.5	—	0.3~0.5	0.06~0.13
中央値の平均(A)	0.88	1.2	0.88	0.0957
(A)の人口当量(人)	32	24	73	537
図1, 図2からの負荷(B)	—	—	0.83	0.23
(B)の人口当量(人)	—	—	69	128

表-1(b) 生産量当たりの負荷原単位

魚種	COD _{Mn} (kg/t-生産量)	BOD ₅ (kg/t-生産量)	TN (kg/t-生産量)	TP (kg/t-生産量)
コイ (網イケス)	180~260	—	60~90	10~20

人の負荷原単位(g/人・日) COD_{Mn}:27、BOD₅:50、TN:12、TP:1.8

からTN負荷量が880g-TN/トン-養魚・日であるから、73人/トン-養魚となる。同様にリンでは、537人/トン-養魚、BOD₅では24人/トン-養魚と試算される。すなわち、1トンの養魚は、TNでは、ひと73人の1日のし尿と雑排水(台所や風呂などからの排水)に含まれるTNの排出量に相当する。1,000トンの養魚は実に73,000人分の負荷量に相当する。(表1(b)は後で引用する)

3.2 淡水養殖排水の負荷量の例

表2は、コイ、ニジマスおよびウナギ養殖場からの排水の平均的水質であるが、水産庁の調査結果¹⁸⁾を基に筆者がまとめたものである。ニジマスは5例、コイとウナギはそれぞれ2例と調査例が少ないので、一例とみななければならない。このような水質の実態調査例のまとめは、対策を考える場合に非常に貴重なので、今後のデータの蓄積が期待される。

表2 コイ(溜池)、ニジマス(流水)、ウナギ(循環)養漁場排水の平均水質

	池面積or流量 (ha) (m ³ /d) (m)	収容密度 (t/ha)	SS (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD _{Mn} (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)
コイ (n=2 池)							
平均±偏差	13.5 (ha)	8.3	18.5	4.5	8.1	3.69	0.208
範囲	(10.2~16.7)	(5.9~10.7)	(8.2~37.5)	(2.6~6.8)	(3.2~13.1)	(2.52~4.84)	(0.072~0.582)
ニジマス (N=5 池)							
同上	36,100±38,700 (m ³ /d)	73.0±59.9	3.5±1.3	2.9±0.6	—	2.59±1.26	0.11±0.05
	(9,500~112,000)	(21.3~188)	(0.7~0.8)	(0.9~4.9)	—	(1.14~4.99)	(0.04~0.23)
ウナギ (N=2 池)							
同上	475 (m ³)	80.4	55	—	16	135	29
	(360~590)	(61.8~98.9)	(25~85)	—	(12~20)	(120~150)	(26~32)

() : 範囲

コイ溜池採水日: H7.7.11, 7.24, 11.28~29, 採水回数: 各1回

ニジマス養漁場排水採水日と回数: H6.12.12, H7.1.15, 1.11, 1.19, 2.1, 採水回数: 各5回

ウナギ養漁場排水採水日と回数: H7.9.12, 9.25, 2池について各1回

いずれの魚種においても、池面積、収容密度、および各水質が養殖場ごとのばらつきが非常に大きいことがわかる。ニジマス養殖排水の水質はいずれの項目においても最も低い、排水量が多い。これに対して、ウナギ養殖における換水時の排水の水質はいずれの項目においても最も高く、特にTNとTP濃度は一律排水基準（許容限度濃度TN 120mg/l, TP 16mg/l）を越えている。

排水の負荷量を考える場合、濃度のみでは負荷量を把握できない。表3は、濃度と水量から負荷量を養魚1トン当たりの負荷量に換算し、さらにこれに相当する人口の換算したものである。SS負荷は、人口当量で見ると、コイとニジマスで高いが、ウナギでは極めて低い。ウナギ排水のSS濃度は高いのは、排水量が少ないためである。コイとニジマスのBODの人口当量はTNやTPの場合よりも低いことがわかった。3魚種のTNとTPの養魚1トン当たりの負荷量(人口当量)は、養殖形態が異なるにもかかわらず、ウナギのTN負荷量が1/2強であることを除くと、74~95人の範囲にあり、ほぼ同じ人口当量で約80人とみられる。表1(a)から得られた養魚1トン当たりTNの人口当量73人に近く、TPの人口当量53人はやはり低リン飼料を使用したために低くなったと思われる。ウナギのTN負荷の人口当量がコイやニジマスの場合の約1/2であるのは、水温が高いことも寄与して、脱窒が活発なためではないかと思われる。いずれにしても、魚種と養魚形態に関係なく、養魚1トンのTP負荷量が0.13~0.17kg/日(人口当量で74~95人)のほぼ一定であることが明らかになった。さらにデータを蓄積すればもっと代表性の高い数値が得られよう。より正確な単位養魚当たりの負荷量が得られれば、養魚の現存量から管理の適正さが判断でき、負荷量も容易に推定できる。

表3 コイ(溜池), ニジマス(流水), ウナギ(循環) 養漁場からの負荷量とその人口当量

	SS	BOD ₅	COD _{Mn}	TN	TP
コイ (n=2 池)					
平均単位養魚あたり負荷 (kg/魚-トン)	8.9 (0.89-16.9)	1.8 (0.26-3.27)	3.38 (0.78-5.97)	0.93 (0.176-1.68)	0.13 (0.00589-0.260)
平均単位養魚あたり人口当量 (kg/魚-トン)	234 (23-445)	35 (5-65)	125 (29-221)	78 (15-140)	74 (3-144)
ニジマス (N=5 池)					
平均単位養魚あたり負荷 (kg/魚-トン)	4.6±1.8 (1.8-6.3)	2.9±1.8 (1.3-6.3)	-	0.92±0.59 (0.39-1.71)	0.17±0.12 (0.065-0.161)
平均単位養魚あたり人口当量 (kg/魚-トン)	121±48 (47-166)	58±36 (26-126)	-	77±49 (32-143)	95±66 (36-222)
ウナギ (N=2 池)					
平均単位養魚あたり負荷 (kg/魚-トン)	0.068±0.25 (0.043-0.092)	-	0.072 (0.044-0.10)	0.57 (0.54-0.60)	0.14 (0.12-0.16)
平均単位養魚あたり人口当量 (kg/魚-トン)	1 (1-2)	-	3 (2-4)	47 (44-50)	77 (65-89)

() : 範囲

人の原単位 (g/人・日) : SS 38, BOD 50, COD 27, T-N 12, T-P 1.8.

コイ溜池採水日: H7.11.29, 11.29., 採水回数: 各1回

ニジマス養漁場採水日: H6.12.12, H7.1.5, 1.11, 1.19, 2.1, の8時から16時間の間の各5回

3.3 海産網生け簀養殖の負荷量の例

配合飼料を用いた8カ月間のニジマスの網生け簀養殖におけるTNの負荷量は95~102kg-TN/トン-生産量⁶⁾, リンの負荷量は19.6~22.4kg-TP/トン-生産量⁷⁾という。この原単位は表1(b)のコイの場合の上限値に近い。

ニジマス海面養殖における負荷の人口当量を求める。TNの負荷量を100kg-TN/トン-生産量, TPの負荷量を20kg-TP/トン-生産量とする。人の原単位を窒素では12-TN/人・日, リンでは1.8g-TP/人・日とすと, 窒素では35人, リンでは46人になる。すなわち, 1トンを生産するためには, 養殖期間中, 毎日35人分の窒素と46人分のリンを排出し続ける, ということである。当然のことであるが, 養殖開始初期にはこの人口より少なく, 取り上げ時には多くなる。

これまでに引用した負荷原単位を表4にまとめたが, おおよその代表値を表していると言えよう。

「1トンの養魚当たりの負荷量」と「1トンの生産魚当たりの負荷量の人口当量」が異なっている。1トンの養魚当たりの負荷量は養魚池に収容1トンの養魚からの負荷である。これに対して「1トンの生産魚当たりの

「負荷量」は養殖期間にわたっての負荷であるから平均的な値になる。収容量は養殖初期には少なく、取り上げたときには最大に達することになる。最大の負荷は取り上げ直前であり、養魚1トン当たりの負荷量で求められることになる。

わが国の海面養殖では、生餌から配合飼料に変わりつつあるが、現在も生餌を与えている場合が多い。坂本¹⁹⁾の尾鷲湾における1976年11月の養殖ハマチ量(1,890トン)に対する給餌量(生餌97.1トン/日)から推算したTNとTPの負荷量を基に、単位養魚当たりの負荷量を求めると、それぞれ1.44kg-TN/トン・魚・日と0.29kg-TP/トン・魚・日と試算される。これは淡水魚の平均負荷原単位(表-4)のそれぞれ1.6倍(=1.44/0.9)と1.9倍(=0.29/0.15)になる。このように負荷量が大きいの、生餌の使用に主な原因があると思われる。

表4 負荷原単位のまとめ(配合飼料)

I 淡水魚		(kg-物質/トン-養魚・日)				
		SS	BOD ₅	COD _{Mn}	TN	TP
(1)水槽飼育	コイ	—	—	—	0.8	0.23
(2)現地調査①	コイ	—	—	1.25	0.4	0.095
(1985)	ニジマス	—	1.0	0.5	0.6	—
	ウナギ	—	1.0	0.35	0.7	—
	アユ	—	1.6	1.3	1.8	—
					0.88	
現地調査②	コイ	8.9	1.75	3.38	0.94	0.13
(1997)	ニジマス	4.6	2.9	—	0.93	0.17
	ウナギ	0.038	—	0.081	0.56	0.14
					0.94	0.15
代表値					0.90	0.15
					(75人)	(83人)
(kg-物質/トン-生産量)						
コイ			180~260	60~90	10~20	
II 海産魚		(kg-物質/トン-生産量)				
		SS	BOD ₅	COD _{Mn}	TN	TP
現地調査①	ニジマス	—	—	—	95~102 (8カ月) (71%)	16.9~22.4 (8カ月) (78~82%)
現地調査②	鮭	—	—	—	75%	77%
代表値					100 (35人)	20 (46人)
					(73%)	(80%)

3.4 我が国の魚類養殖からの負荷の推定

平成9年度の養殖魚類の生産量は32.3万トン²⁰⁾である。このうち海面養殖生産量は25.6万トン(79%),内水面のそれは6.7万トン(21%)である。負荷原単位をTNで100kg-TN/トン・生産量,TPで20kg-TP/トン・生産量,養殖期間を8カ月とする。養殖期間の全負荷量は、窒素では1,120万人(=(32.3万トン×100kg-TN/トン・生産量・240日)/12g-TN/人・日),リンでは1,500万人に達する。年平均にすると、それぞれ750万人,1,000万人の負荷を毎日排出し続けることになる。したがって、年間の生産量の取り上げ時を同じとすると、その時の人口当量は最大となる。窒素では2,420万人/日,リンでは2,680万人/日となる。しかし、全生産量を同時に収容していることはあり得ない。

配合飼料の年間生産量から負荷を試算する。平成9年度の配合飼料生産量は約50万トン²¹⁾とし、TNとTPの含有量と体外への排泄量を図1と図2と同じとすると、負荷人口等量は窒素では480万人,リンでは850万人になる。体外へのTPの排泄量を給餌量の80%⁷⁾とすると、人口等量は1,000万人に近づく。

4. 閉鎖循環式養殖システムの国際情勢

4.1 養殖システムの分類

現在までに提案されている養殖システムは多様であるが、次のように分類することができる。循環式(The

recirculating style) には、飼育水を処理しつつ循環し、一部を換水する養殖方法を全て含む。この方式には、①循環濾過池による池中養殖(pond culture)、②濾過法や沈殿法を用いた従来の循環式養殖システム)、③固形物除去、硝化、酸素供給プロセスを組み込んで養魚の飼育密度を極限にまで高めた循環式-高密度養殖システムに分けられる。

これに対して、環境への負荷削減を目的として、給餌養殖における残餌や魚からの排泄物を環境に排出せず、しかも高密度養殖の可能な閉鎖循環式-高密度養殖システム (Closed-recirculating system for intensive aquaculture) の開発が検討されてきている。このシステムは、飼育水を高度に浄化することによって完全循環を行い、蒸発分などの水量調整や種々の作業操作などに伴う分のみの注水で換水を全く必要とせず、環境負荷を全く与えない理想的な養殖システムといえる。

4.2 開発のニーズ

循環式および閉鎖循環式高密度養殖システムに関する研究は北西ヨーロッパ(デンマーク、オランダ、ドイツ、ノルウェー)、北アメリカ、イスラエル、および日本で進められてきた。特に、北西ヨーロッパでは早くから循環式高密度養殖システムが開発され、ウナギやニジマスなどの淡水魚を対象として実用化され、産業として成り立つ状況にある。

循環式高密度養殖システム開発のニーズは、西欧では①天然水の汚染と工業用水需要の増加による用水不足、②加温必要地域での省エネルギー、であったが、③労働力不足と保蔵技術の進歩が開発を促進し、④栄養塩の排出量削減の必要性が高まったため⁹⁾である。また、開放式養殖システムの場合に比較して、次のような利点が考えられるためでもある。①揚水エネルギーの節約、②労働生産性の向上、③土地面積当たりの生産性の向上、④全天候型産業、⑤高齢者労働力の活用など。本格的に実用化されている例は多くはないようである。その理由は最近までは開放式養殖システムに比較して設備費と運転維持管理費が高く、生物処理が必ずしも安定しないために飼育成績に不安があるためであった。しかし、現時点ではシステムが著しく改善されている²⁰⁾。今後は、養殖排水を全く排出しない閉鎖循環式の高密度養殖システムの開発にニーズが高まるであろう。

4.3 養殖システムの実例

循環式高密度養殖システムの主プロセスは、物理的固形物除去、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化のための生物学的処理、および酸素供給であるが、それぞれに幾つかの方法があるためにシステムは多様である。Rijinはよりニーズに合ったシステム、すなわち完全な閉鎖循環式養殖システムを構築するため、循環式養殖および、閉鎖循環式養殖に関する研究論文130編を整理して、問題点を指摘し、今後の研究課題を提案した⁹⁾。ここでは代表的なシステムを紹介して利点と問題点を整理することとした。

4.3.1 循環式

(1) 循環式養殖システム(人工池による水処理法)

養殖排水の処理を目的とした人工池を組み込んだ伝統的な循環式養殖法は、東南アジアで増加している。この方法を改良した循環式高密度養殖法は、台湾、イスラエル、シンガポールで採用されている。しかし、詳細な水質の研究例は極めて少ない。管理の要点は、①高密度養殖と処理用の人工池の滞留時間の最適化、②処理用人工池の適切な混合、③水抜きによる底質の定期的曝気であるが、欠点は植物プランクトン密度の変動による浄化の不安定さにある。

Ngら²³⁾の調査したシステムは、養殖池(44, 500 m^3)、砂利ろ過槽(100 m^3)、および植物プランクトン培養池(2, 160 m^3)から成り、一日換水率8%、収容密度0.13 kg/m^3 (コイなど5魚種の混養)で運転され、水質は $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.31 mg/l 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.045 mg/l 、DO 6.15 mg/l とされている。このような条件における大腸菌添加試験では、添加密度が11, 000MPN/100ml(MPNは最確数)が60MPN/100mlに減少している。

循環式養殖では病気の問題がほとんど取り上げられていない。この理由は、上述の大腸菌添加試験において、添加した大腸菌の急速な減少は、安定した生態系に特定の細菌類が加えられても、共存・増殖できず、換水率が低いために外部からの侵入の頻度が低いためと考えられる。このような方法は熱帯地域では、最も経済的で、有用であるとされている⁹⁾が、ウナギ養殖排水の処理にも適用できると考えられ、酸化池による下水処理技術は処理能を高めると思われる。

(2) 循環式 - 高密度養殖システム (「固形物除去・硝化・酸素供給」システム)

「固形物除去・硝化・酸素供給」システムの基本構成プロセスは、固形物除去、硝化および酸素供給 (oxygenation) から成る。このシステムは最も広く研究され、実用化されている。高密度養殖が可能であり、かつ飼育管理が徹底できる点では優れた養殖システムといえる。しかし、換水率が約15%/日と高く、養殖排水の処理プロセスも組み込まれていないことから、環境への負荷量は流水式の場合とほとんど変わらないはずである。諸外国では、ウナギ^{22), 24)}、コイ^{25), 26)}、ナマズ²⁷⁾、わが国でのニジマス²⁸⁾の例がある。

典型的な例としてウナギ稚魚の養殖システムを図3²⁹⁾に示す。このシステムは、飼育水総容量36.7m³、トライアングルフィルターTF24(商品名)1基(孔径80μm)、散水ろ床(回転式散水機付)、酸素供給槽1槽(直径0.6m、高さ4m、シャワー方式)から成る。飼育水容量に対する処理システムの容量は約50%である。注水量は5.8m³/日(換水率15.8%/日)。最大収容量は1,436kg(収容率3.9%)である。NH₄-NとNO₂-N濃度の変動は散水ろ床の不安定さに起因するが、その原因として汚泥の沈殿除去をコントロールできなかったこと、酸化還元電位が低いこと、CO₂濃度が高いこと、およびpHが変動したことなどが考えられる、としている。

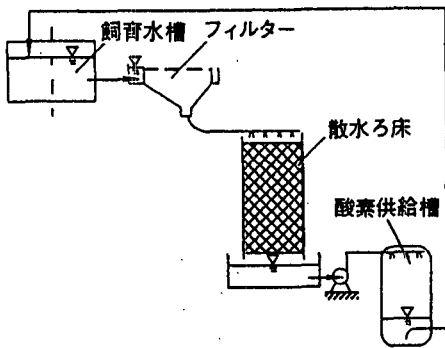


図3 循環式ウナギ稚魚飼育用システム

固形物除去は、この種のシステムの重要なプロセスである。そのため、多様な方法が提案されている。①フィルター：ヨーロッパで採用され始めたマイクロストレーナー様のフィルター(孔径40~100μm)を用いる機械的ろ過法である。一般の懸濁物質のサイズは95%以上が20μm以下⁹⁾であるとすればさほど除去効果は期待できず、連続洗浄の問題があろう。②沈殿：単純な重力式沈殿池のほかに渦巻き型固液分離法がある。③ろ過：砂などをろ材とした重力式ろ過や流動床型ろ過がある。上向流式流動床型ろ過には砂のほか水より幾分比重の小さいビーズ²⁹⁾などが用いられる。これらはいずれも懸濁物質の物理的抑留のほかにNH₄-Nの硝化と溶解性有機物の生物学的酸化分解が期待されてい

る。

硝化法には散水ろ床法、浸漬ろ過法(重力式ろ過や上向流式ろ過を含む)、回転円板法、回転ドラム法があるが、いずれも生物膜法である。単位表面積当たりの最大硝化速度はろ材や接触材による差は小さく、ビーズ、砂、回転円板を用いた場合では、0.23~0.55g NH₄-N/m²・日とみられる^{9), 30)}。NH₄-Nの硝化速度はNH₄-Nの濃度と溶存酸素(DO)濃度に支配され、NH₄-N濃度が高く、DO濃度が高いほど速くなる³⁰⁾のでDO濃度維持に十分な配慮が必要である。

ろ過も含めて生物膜法の欠点は、水質が不安定になることである³¹⁾。生物膜処理の前処理として有機物負荷を少なくすると、硝化は順調に進む³²⁾。しかし、図3のようなシステムでは生物膜処理前に溶解性有機物濃度を著しく低下させることは困難であろう。

硝化速度は、「g-NH₄-N/m²・日」あるいは「g-餌/m²・日」の単位で表される。硝化槽の設計と運転維持管理上からは後者が便利である。最大給餌負荷は、3.75~12g-餌/m²・日とされ、ウナギ養殖では一般に5~7g-餌/m²・日である²²⁾。

(3) 植物による栄養塩の除去

養殖システムに蓄積する栄養塩を植物を利用して除去・回収する方法が提案されてきている⁹⁾。このシステムは、従来の養殖システムの循環水に陸上植物、水生植物あるいは海藻を培養するプロセスを付加したものである。

イスラエル養殖研究センターでは、排水処理のバイオフィルターとしてアオサを利用する養殖システムの開発を進めている^{33), 34)}。植物をバイオフィルターに利用する方法は、エコロジカルであるところから好ましく、淡水魚養殖システムでは野菜の水耕栽培、海産魚養殖システムでは大型海藻の生産が期待できる。しかしながら、次に挙げるような研究課題は多い。①養殖と植物生産の全体の把握、②植物の栄養学的・生理学的安定性、③塩濃度の上昇、④植物と養魚の病気と害虫のコントロール、⑤システム全体からの排出物の処理、など。

(4) 循環式・高密度養殖システム（「回転円板・活性汚泥」システム）²²⁾

本システム(図4)はNH₄-N濃度の安定化、硝化速度の高速化、および脱窒能の向上を目的に開発された。ウナギ養成に使われているシステムで、実用規模で生産計画を満足している数少ない例とされている。生物膜法と活性汚泥法を同時に用いると、それぞれを単独で用いるよりも水質が安定するという考え方³⁰⁾に基づいている。

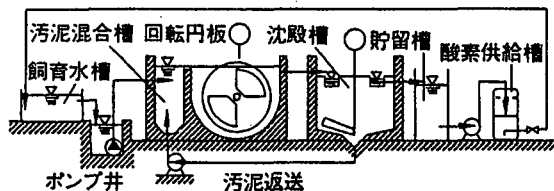


図4 循環式ウナギ養成システム

このシステム(図4)は、総飼育水量、汚水マス、浸漬型回転円板、沈殿槽、処理水貯留槽、酸素供給槽、および沈殿汚泥貯留槽から成る。飼育水容量に対する処理システムの容量は約2.4倍にもなる。消費水量は35m³/日(連続供給)であるが、一時的増加を加えて45m³/日で、全容量の3.1%/日。このシステムの最も大きな特徴は回転円板法と活性汚泥法を組み合わせたことと懸濁物除去装置を設けておらず、回転円板から脱落したバイオマスが活性汚泥として働き、糞などの懸濁物質は活性汚泥とともに沈殿除去されることにある。したがって、余剰汚泥の引き抜きは避けられない。

処理システムの容量が、飼育水容量の2.4倍で著しく大きい、最終収容量100トン(収容率25%)に対して設計されているためであろう。本論文の作成時(発表1994)の収容率は7.8%で順調に成長を続けている。水質は良好で、脱窒も順調である。このような驚くべき超高密度養殖は可能なのであろうか。わが国の加温循環式ウナギ養殖の収容率はわずか1%程度である。このような超高密度養殖が可能なら、経済合理性が高まろう。

循環式および閉鎖循環式のシステムのどちらにも共通することであるが、最も重要なことは養魚への酸素供給とNH₄⁺の硝化のためにDO濃度を高く維持することである。その結果、①NO₃-Nが蓄積し、②pHが低下し、③難分解性の腐植物質(色物質)が蓄積して、黄褐色に着色する³²⁾。NO₃-N濃度の低下には植物、または脱窒装置(後述)が必要となる。pH調整は炭酸水素ナトリムによって容易に調整でき³⁵⁾、サンゴやカキ殻の利用も考えられるが、懸濁物質による被覆によって効果が低下する。難分解性の着色物質はオゾンによる酸化分解³⁶⁾が提案されているが、特に海水では毒性の強い臭素酸(BrO₃⁻)が生成される³⁷⁾。腐植物質の毒性は低く、徐々に蓄積されるので適当な時期に短期間の適切な活性炭による吸着を行えば十分である(未発表)。

4.3.2 閉鎖循環式・高密度養殖システム

(1)「固形物除去・硝化・脱窒・酸素供給」システム^{9), 25), 26)}

前述した「固形物除去・硝化・酸素供給」システム(2)では飼育水におけるNO₃-Nの蓄積があり、負荷削減の観点から、脱窒素が必要である。図5⁹⁾は飼育水槽、散水ろ床、循環ポンプ(1回転時間18分)、沈殿池、および

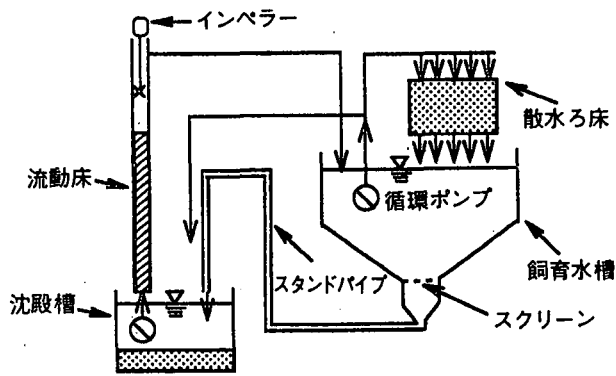


図5 好気および嫌気生物ろ過による循環式養殖システム

び脱窒塔(濾材と径: 砂径0.3~0.9mm, 膨張量: 静置砂高さの50%以内, 攪拌用羽根付)から成る。蒸発と漏水のための補給水量は3m³/日(全水量の3.6%)である。

初期コイ収容量は1トン(収容率2%)である。配合飼料(蛋白質含量30%)の給餌量は魚体重の2.5%/日。約80日間の飼育水の水質は、水温22~27℃, pH7~7.8, DO6~7mg/l。NH₄-Nは一時的に2mg/lまで上昇したが0.5mg/l以下、NO₂-Nは時に0.1~0.4mg/lまで上昇したがほとんどは0mg/lに近く、NO₃-Nは運転開始約15日間は40mg/lまで上昇したが0~15mg/lで推移している。

本システムの特徴は、全沈殿物の回収と脱窒をほぼ完全に行い、脱窒に必要な炭素源として沈殿物の可溶化した溶解性有機物を用い、

沈殿物量の減少を図っていて、非常に合理的なことである。

海産魚を対象とした「固形物除去・硝化・脱窒・酸素供給」システムによって高密度養殖も可能である。電力中央研究所の研究グループは、固形物除去と硝化を目的としたフィルター（メッシュタイプ）、脱窒槽、およびpHと水温制御装置を組み合わせた閉鎖循環式システムを用いて、ヒラメを高密度（収容率4.3%）で1年近く養殖できた実績がある^{35), 36)}。脱窒槽は、海洋から単離した脱窒菌を植種し、炭素源としてグルコースを注入するようになっている。

(2)「泡沫分離・硝化」システム

① 畜養システム^{38), 39)}

マダイ³⁸⁾あるいはヒラメ³⁹⁾の畜養を目的とした泡沫分離・硝化畜養システムが開発されている。このシステムは、マダイ、ヒラメ、ロブスター、タコ、イカなど多数の海産魚介類の畜養や活魚輸送などで実用化され、実績を上げている。

このシステムは、全く換水なしに常時高密度の畜養可能な完全閉鎖循環式システムである。システムを図6に示す。この方法は、懸濁物質除去と酸素供給を同時に行う方法で、プロテインスキマーの機能を高効率に発揮させた方法といえる。その機構を簡単に述べる。モーター直結で単純な羽根を水中で回転させると空気を自吸して微細気泡を供給できるエアレーターを排気口を設けた密閉槽(気液接触槽)に装着し、これに飼育水を揚水する。養魚は常時体表面粘質物を分泌しており、これが懸濁物質に吸着する。懸濁物質を吸着した体表面粘質物が気泡の気液界面に強く吸着し、自動的に水面に集積して膜を形成する。次々に供給される気泡によって水面に蛋白質特有の消え難い安定な泡(安定泡沫)が形成され、排気口から自動的に排除される。懸濁物質除去と酸素供給を十分に満たすだけでなく、ピプリオを含む細菌類や溶解性有機物も除去される。NH₄⁺は除去できないので硝化プロセスを後続させている。このシステムは維持管理が極めて容易で、畜養を目的とした場合には、メンテナンスフリーである。

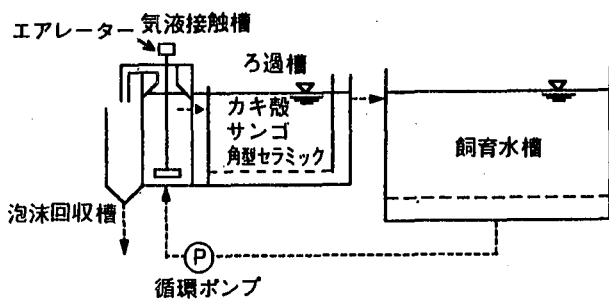


図6 海産魚畜養用の閉鎖循環式泡沫分離・ろ過システム

3～4日に1度の割合で10m³の飼育水に約1トンのヒラメを収容し、順次出荷することを繰り返す畜養の実用化例³⁸⁾について述べる。システムの運転開始約6ヶ月後に、1トンのヒラメを収容した場合の18時間の飼育水の平均水質(N=6)は、DO飽和度101%、濁度0.22TU、DOC 0.32mg-C/l、NH₄-N 0.80mg/l、NO₃-N 47.2mg/l、全生菌数 2.1 × 10⁴ CFU/ml、ピプリオ 1.2 × 10³ CFU/mlで、極めて良好に維持された。泡沫分離水発生量はわずか30L/日(飼育水量の0.3%)であった。硝化のための微生物担体は約30mmの多孔のセラミックであるが、

溶解性有機物濃度が低いいため生物膜は発達せず、硝化菌が優占していたと考えられる。なお、運転開始後8年を経過した今日も年に1度しか清掃のための海水交換しかしていない。

② 養殖システム

泡沫分離・硝化システムによって、海産魚介類の畜養だけでなく、閉鎖循環式の高密度養殖も十分に可能であることが明らかとなってきた^{40), 41)}。これに関する研究は詳細に報告すべく準備中であるので、本報ではその要旨を紹介する。

泡沫分離養殖システムは、飼育水槽(水量1m³)、空気自吸式エアレーター(400W)を設置した気液接触泡沫分離槽(0.6m³)、硝化槽(0.6m³)、pH・水温調整槽(0.4m³)、「槽」まで設ける必要はないからなり、全水量は2.6m³である(図7)。畜養システムと若干異なる点は、硝化槽に充填する担体を比重0.93のポリエチレン製(直径10mm×長さ14mm)の円筒形の担体にしたことである。これによって、硝化と同時に固液分離処理も効率よくできるようになっている。初期体重142gのヒラメ200匹(総重量28.4kg)を収容し、一回転時間を約20分として、配合飼料を用いて90日間養殖した。

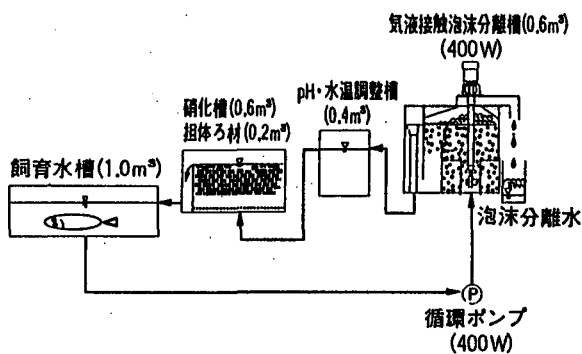


図7 海産魚養殖用の閉鎖循環式泡沫分離・硝化システム

その結果、閉鎖循環式泡沫分離・硝化システムは、90日間全く飼育海水を交換することなしに養殖することができた。生残率は93.5%と極めて高く、対照実験の流水式システムとほぼ同等の生産量が得られた。飼育水のDO飽和度は平均96% (88~99%)で推移し、空気自吸式エアレーターで酸素供給が極めて効率的に行っていることがわかる。養殖期間を通じて、飼育水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ は 1mg-N/l 以下であり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は給餌量の累積にともなって増加する傾向を示し、このシステムの $\text{NO}_3\text{-N}$ は90日目には 133mg-N/l に達した。図8には、泡沫分離システムによる90日間の養殖における物質収支を示した。総給餌量(配合飼料)は 18.7kg 、90日後の魚の総重量は 50.3kg (実験開始: 28.4kg)となり、飼育水槽 1m^3 における魚の収容率は5.0%と、わが国で広く採用されている流水式養殖と比較して著しい高密度養殖であった。全有機炭素(C)は、魚体への同化を除くと、ほとんどが CO_2 ガスとしてシステム外に除去され、Nは $\text{NO}_3\text{-N}$ として飼育水に蓄積し、Pは懸濁物として硝化槽に、一部は $\text{PO}_4\text{-P}$ として飼育水に蓄積した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去には、このシステムに脱窒処理プロセスを組み込む

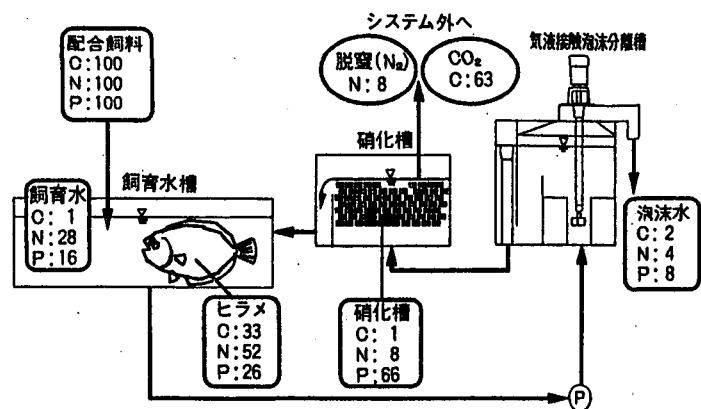


図8 閉鎖循環式泡沫分離・硝化システムによる閉鎖循環式養殖の物質収支 (90日間養殖後)

ことで十分に可能であろう。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ もN源として海藻に摂取・利用されることから、閉鎖循環式養殖システムに海藻バイオフィルターを組み込むことによって飼育水から $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ を除去できる可能性が高い。養殖期間中のこのシステムの管理項目は、給餌のほか、週に1回程度の蒸発分に相当する水道を加えるだけであり、維持管理は極めて容易である。したがって、泡沫分離・硝化システムによって閉鎖循環式の高密度養殖が可能であり、ランニングコストを考慮した場合においても、本システムは経済的に十分期待できる。

体表面粘質物を懸濁物質の物理化学的除去に効果的に利用し、同時に酸素供給ができる泡沫分離法は、フィルターなどを用いた懸濁物除去法よりはるかに優れている。本法は飼育水が海水の場合には極めて有効であり、淡水の場合にも有効であるか否かが今後の課題である。

③ 特殊処理システム

イカ養殖における水質管理は非常に難しいとされているが、イカの種苗生産と養成用の閉鎖循環式システム⁴²⁾が完成している。このシステムは医学分野における研究用の成魚を供給するために開発されたもので、経済性から一般の養殖に採用され得ないと思われる。しかし、近年の種苗段階での病原菌の保菌を避けるために参考になろう。養成用の処理システムは次の2つの処理系統から成る。飼育(10.1m^3)、①ポンプ、ろ過槽($35\mu\text{m}$ メッシュ)と活性炭モジュール、UV殺菌設備、②ポンプ、ろ過槽($35\mu\text{m}$ メッシュ)と活性炭モジュール、プロテインスキマー、大型藻類(アオノリ、オゴノリ)培養槽、空気供給設備、生物膜ろ過槽(粉碎カキ殻層)、水温調整設備、およびUV殺菌設備である。

収容密度 0.8kg/m^3 のときの水質は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.1mg/l 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.03mg/l 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 50mg/l 、pHは8.0以上とされている。処理システムはこれまで紹介したもののなかでもシステムチックに組み立てられていて、飼育槽容量は全体の68%、処理システムの容積は32%である。

4.4 実用化の可能性

わが国において閉鎖循環式養殖が採用されるには、少なくとも①高密度養殖の可能性、②負荷削減の可能性、および③経済合理性、を満たさねばならない。

循環式高密度養殖の可能性は、図4に示したように、収容率7.8%のウナギ養殖が行われており、Heinsbroek²⁴⁾はすでにオランダの実用化されている5つのウナギ養殖場の運転状況を詳細に報告しているところから、すでに実用段階にあると言えよう。ウナギは高密度養殖に適した魚種であろうが、基本的に「懸濁物除去・生物処理・酸素供給」システムで可能である。わが国でもニジマスの種苗生産と養成が実用規模で行われ、研究段階であるがヒラメの養殖も可能と考えられる。

循環式養殖システムは一部の飼育水を換水しており、その負荷量は少なくない。図5に示したようにコイ養殖(初期収容率2%)において、ほとんど換水しておらず、しかも非常に高い脱窒プロセスが組み込まれた閉鎖循環式の高密度養殖システムが実証されている。

経済合理性の問題の一つは病気、もう一つは高い設備費と運転費の問題であろう。この2点についての報告はみあたらない。病気の問題は発病しないから研究例がないのか、研究が進んでいないのか不明である。

閉鎖循環式養殖では一度発病すれば短時間に大量死を招く可能性はあろう。罹病しない可能性について述べてみたい。下水処理に用いられる活性汚泥法や回転円板法などのいずれにおいても、流入水の細菌類は既に生息している微生物に捕食されるために、全生菌密度も大腸菌群密度も著しく低下する。閉鎖循環式養殖システムにおいても、病原菌が侵入した場合に同様のことが起こると考えられる。前述の「人工池による水処理法」で述べたことを勘案しても、循環養殖では病原菌の除去、あるいは増殖抑制が相当効果的に行われると推測される。しかしながら、種苗自体がすでに病原菌を保菌している場合には、システム内の水温を含めた水質悪化で養魚が衰弱して、発病する可能性はあろう。種苗の健全性と水質が維持できれば、流水式の養殖の場合よりも罹病の可能性は低くなると思われる。今後の重要課題である。

経済合理性を考えるには、施設の建設費、維持管理費、飼育密度、生残率などと、上述の負荷削減効果、および前述の利点などを総合的に考えなければならない。したがって、実用規模での実験研究による経済合理性の追求が必要である。

4.5 今後の研究^{23), 24)}

給餌、排泄速度および硝化速度などを連係させるという設計思想²³⁾によって循環式高密度養殖システムの設計と維持管理が著しく改善され、実用化が可能になった。しかし、研究すべき課題は多く、指摘されている項目を列挙する。

- a) 飼育水の水質について：①養魚の摂餌に対する水質と管理の影響、②懸濁物質、炭酸ガス、硝酸態窒素、リン酸および芳香族化合物の蓄積、影響、および除去、③病原細菌類やウイルスの挙動の明確化、など
- b) システムについて：①養殖槽における循環水の通過速度、バイオフィルターの表面積と通過速度、およびシステム容量の3つを合わせたものの最適化、②餌成分と給餌法、③酸素供給と循環装置、④懸濁物除去法と処分法、⑤自動モニタリングシステム、⑥感受性の高い魚種用のシステム開発、⑦建設、維持管理費、生産性、および環境負荷削減のバランスを考慮した経済性の検討、⑧排水の環境規制をクリアできるシステム開発、⑨溜池での浄化機構の研究と応用技術の開発、⑩注水のない閉鎖循環式高密度養殖システムの開発、など。

5. おわりに

環境の保全と修復が求められ、ゼロエミッションに努力しなければならない時代になっている。わが国の海面における給餌型養殖の生産量を30万トンのTP負荷量は、年間を通じて人口1,000万人の負荷量に相当する。養殖が局所的に行われているので、そこに負荷が集中していることになる。一方、人口増加やわが国への水産物輸出国の水産物需要の増加などにより、自給率を高めなければならない状況にある。これらの問題を解決する究極の方法である全く負荷を出さない閉鎖循環式高密度養殖に移行することである。現状の閉鎖循環式養殖技術は、実用性の観点から技術的・経済的に満足できる域に達したとは言えないが、相当のレベルに達している。

閉鎖循環式養殖のメリットはあるのか。例えば、海面生け簀養殖から陸上の閉鎖循環式養殖へ転換できたとすれば、そのメリットは非常に大きい。養殖場への負荷の激減とそれによる環境と天然資源の回復、魚病回避や飼料効率の改善、あるいは高密度養殖による生産性の向上、化学物質からの開放、全天候型産業への転換、

高齢者の労働寄与,あるいは消費地生産などなど。施設費についても,現状の堅牢な網生け養殖施設と交換頻度および維持管理労力,さらには給餌用船舶の建造・維持管理費など子細に比較検討する必要がある。

このような訳で,シンプルかつ維持管理が容易で,しかも省エネルギー型の閉鎖循環式高密度養殖システムの研究開発が急務と考える。

参考・引用文献

- 1) 中村玄正, 高橋幸彦, 成田大介, 松本順一郎:阿武隈川の富栄養化に及ぼす養魚池の影響に関する研究, 環境工学論文集, 32, 263-272, 1995.
- 2) 野村宗弘, 千葉信男, 除開敏, 須藤隆一:内湾の水質に及ぼす推算養殖からの汚濁負荷の影響, 水環境学会誌, Vol.21, No.11, 719-726, 1998.
- 3) 水産庁:内水面養殖指針作成に関する事業報告, 14-16, 1985.
- 4) 丸山俊朗, 鈴木祥広:総説 養魚排水の現状と水域への負荷-クローズド化への展望-, 日水誌, 64(2), 216-226, 1998.
- 5) Folke, C. and N. Kautsky: The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture, *Ambio*, 18, 234-243, 1989.
- 6) Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg and M. Samuelsson: Chemical fluxes and mass balances in marine fish cage farm. IV. Nitrogen, *Marine Ecology Progress Series*, 89, 81-91, 1992.
- 7) Holby, O. and P. J. Hall: Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus, *Marine Ecology Progress Series*, 70, 263-272, 1991.
- 8) 通商産業省環境局地局監修:公害防止の技術と法規(水質編, 五訂), p.12, 419-423, 496, 丸善, 1998.
- 9) Rijn, J.: The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review, *Aquaculture*, 139, 181-201, 1996.
- 10) 真柄泰基監修:水道水質ハンドブック, pp.365-367, 日本水道新聞社, 1994.
- 11) Rijn, J. v. and G. Rivera: Aerobic and anaerobic biofiltration in aquaculture unit - Nitrate accumulation as a result of nitrification and denitrification, *Aquaculture Engineering*, 9, 217-234, 1990.
- 12) 橋本啓芳:内水面における排水対策事業, 養殖(臨時増刊:環境対策マニュアル), pp.43-44, 1996.
- 13) 井上清和:海面漁業における環境対策事業, 養殖(臨時増刊:環境対策マニュアル), pp.43-44, 1996.
- 14) Folke, C. and N. Kautsky: The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture, *Ambio*, 18, 234-243, 1989.
- 15) Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg and M. Samuelsson: Chemical fluxes and mass balances in marine fish cage farm. IV. Nitrogen, *Marine Ecology Progress Series*, 89, 81-91, 1992.
- 16) Holby, O. and P. J. Hall: Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus, *Marine Ecology Progress Series*, 70, 263-272, 1991.
- 17) 半谷高久, 小倉紀雄:改訂2版水質調査法, p.45, 丸善, 1992.
- 18) 水産庁:平成8年度魚類養殖対策調査報告書-養魚堆積物適正処理技術開発事業, 1997.
- 19) 坂本市太郎:魚類給餌養殖の視点からの窒素・リン負荷の規制, 漁業から見た閉鎖性海域の窒素・リン規制, (村上彰男編集), pp. 96-133, 恒星社厚生閣, 1986.
- 20) 農林水産省統計情報部(平成11年1月):平成9年度 漁業・養殖業生産統計年報, pp.162-163, 228-229.
- 21) (社)日本養魚飼料協会資料および東京水産大学教 渡邊 武教授のご教示による.
- 22) Knosche, R.: An effective biofilter type for eel culture in recirculating system, *Aquaculture Engineering*, 13, 71-82, 1994.
- 23) Ng, W. J., K. Kho, L. M. Ho, S. L. Ong, T. S. Sim, S. H. Tay, C. C. Goh and L. Cheong: Water quality within a recirculating system for tropical ornamental fish culture, *Aquaculture*, 103, 123-134, 1992.
- 24) Heinsbroek, L. T. H. and A. Kamsta: Design and performance of water recirculation systems for eel culture, *Aquaculture Engineering*, 9, 187-207, 1990.
- 25) Rijn, J. v. and G. Rivera: Aerobic and anaerobic biofiltration in aquaculture unit - Nitrate accumulation as a result of nitrification and denitrification, *Aquaculture Engineering*, 9, 217-234, 1990.
- 26) Arbiv, A. and J. v. Rijn: Performance of treatment system for inorganic nitrogen removal in intensive aquaculture systems., *Aquaculture Engineering*, 14, 189-203, 1995.
- 27) Edin, E. H., S. S. Desmares and J. H. v. Weerd: Intensive culture of *Clarias gariepinus* in recirculation systems, *World Aquaculture'96*, 116, *Aquaculture*, 1996.
- 28) 古川賢男:クローズドシステムの技術開発, 日本水産学会誌, 63(3)269-270, 1997).
- 29) Malone, R. F. and D. E. Coffin: Biofiltration and solids capture with low density filter, Design of high-density recirculating aquaculture systems, *Workshop Proceeding*, 29-35, 1991.
- 30) Hirayama, K., H. Mizuma and Y. Mizue: The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation system, *Aquaculture Engineering*, 7, 73-87, 1988.
- 30) Hirayama, K., H. Mizuma and Y. Mizue: The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation system, *Aquaculture Engineering*, 7, 73-87, 1988).
- 31) Bovendeur, J., E. H. Eding and A. M. Henken: Design and performance of water recirculation system from high-density culture of the african catfish, *Clarias arietinus* (Burchell 1822), *Aquaculture*, 63, 329-353, 1987).
- 32) 武田重信, 本田晴朗, 菊池弘太郎, 岩田仲弘, 清野道康:高効率魚類生産のための水質浄化技術の開発, 5. ヒラメの長期飼育時における水質変化, 電力中央研究所報告, 1-24, 1990).

- 33) Kro, M. D., S. Ellner, J. v. Rijin and A. Neori : Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel, Marine Ecology Progress Series, 118, 25-36, 1995).
- 34) Neori, A., M. D. Krom, S. P. Ellner, C. E. Boyd, D. Popper, R. Rabinovitch, P. J. Davison, O. Dvir, D. Zuber, M. Ucko, D. Angel and H. Gordin : Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units, Aquaculture, 141, 183-199, 1996.
- 35) Honda, H., Y. Watanabe, K. Kikuch, N. Iwata, S. Takeda, H. Uemoto, T. Furuta and M. Kiyono : High density rearing of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* with a closed seawater recirculation system equipped with a denitrification unit, Suisanzoushoku, 41, 19-26, 1994).
- 36) 武田重信, 菊池弘太郎 : 高能率魚類生産のための水質浄化技術の開発, 11. 養魚システムの物質収支と物理化学的浄化法の評価, 電力中央研究所報告, 1-23, 1994.
- 37) 磯野良介, 伊藤康男, 木下秀明, 城戸勝利 : シロギス卵・稚魚の生残に及ぼす海水オゾン処理の影響, 日本水産学会誌, 57, 1527-1533, 1993.
- 38) 丸山俊朗, 奥積昌世, 佐伯昭和, 島村茂 : 活魚輸送・畜養における泡沫分離法の飼育海水浄化能, 日本水産学会誌, 57, 219-225, 1991.
- 39) 丸山俊朗, 奥積昌世, 佐藤順幸 : 循環式泡沫分離-ろ過システムによるヒラメ畜養水の浄化, 日本水産学会誌, 62, 578-585, 1996.
- 40) 鈴木祥広, 佐藤大輔, 丸山俊朗, 神田猛, 道下保, 佐藤鉄三郎 : 泡沫分離・硝化システムによるヒラメ完全循環型養殖(I), 第32回日本水環境学会年会講演集, 31, 日本水環境学会, 1998.
- 41) 丸山俊朗, 佐藤大輔, 鈴木祥広, 神田猛, 道下保, 佐藤鉄三郎 : 泡沫分離・硝化システムによるヒラメ完全循環型養殖(II), 第32回日本水環境学会年会講演集, 320, 日本水環境学会, 1998.
- 42) Yang, W. T., R. T. Hanlon, G. P. Lee and P. E. Turk : Design and function of closed seawater systems for culturing logimid suids, Aquaculture Engineering, 8, 47-65, 1989.