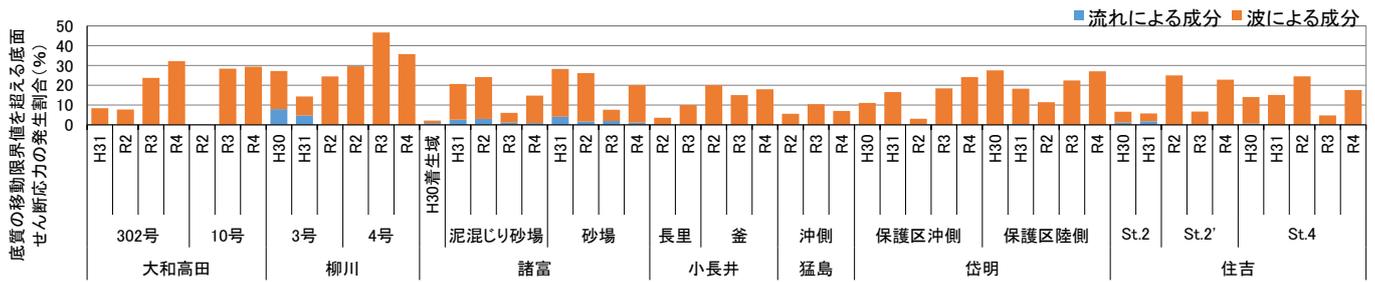


○夏季調査



○冬季調査

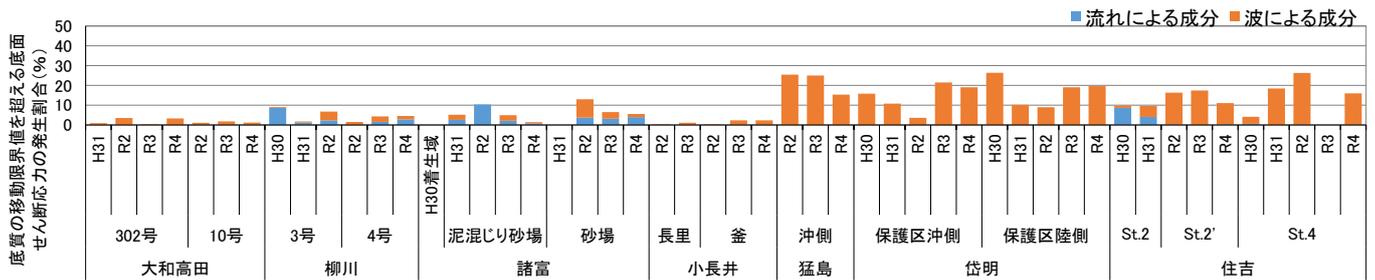


図 23 各実証実験場所での底質の移動限界を超える底面せん断応力の発生割合

夏季調査

冬季調査

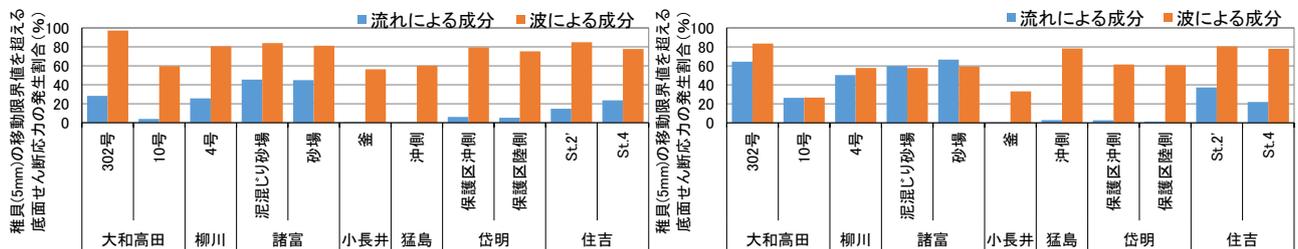


図 24 各実証実験場所での稚貝(5mm)の移動限界を超える底面せん断応力の発生割合 (令和4年度)

② 各地先の水質環境

水質環境の連続観測は、水温、塩分そしてクロロフィル a、濁度について実施した。

調査期間は実証実験により異なるが、夏季調査は6月～9月の間、冬季調査は12月～2月の間に、15昼夜から30昼夜の観測が主に実施された。令和3年度以降については、多くの地先で通年に亘る連続観測が実施された。

各実証実験場所で得られたこれまでの調査結果は、巻末資料に添付(各年度の調査結果の時系列図を巻末に添付)した。各水質項目のうち、水温と塩分に関しては、夏季の高水温および大雨による塩分低下が、アサリ生息に影響すると懸念されることから、水温は各年の8月の調査結果を整理し、塩分は降水量が多くなる7～8月の調査結果を整理して図26および図27に示した。また、餌料環境の指標となるクロロフィル a および濁度については、各年の季節ごとに整理し図28および

図 29 に示した。

夏季の水温を整理した結果、大和高田地先 302 号地区、柳川地先 4 号地区、小長井地先が、他の実証実験場所に比べて高くなる傾向であった。特に大和高田地先 302 号地区は、各場所の中でも最も地盤高の高い場所に位置している影響が、水温に現れていると考えられた。

今年度の夏季は、昨年度までに比べて水温が高い傾向であった。各実証実験場所の中でも、特に岱明地先（保護区岸側、保護区沖側）、住吉地先 St. 2'が、昨年度に比べて高水温な傾向であったことが確認された。

夏季の塩分を整理した結果、大和高田 302 号地区、諸富地先で淡水流入の影響を受け易い環境であることが推測される状況であった。令和 2 年の 7 月豪雨時の様に、大量の淡水流入を受ける時は、これら地先の他、柳川地先や小長井地先、住吉地先など 1 級河川の河口近くに位置する場所でも塩分低下する傾向が見られた。猛島地先も塩分低下する傾向が見られたが、近隣に大河川の河口は存在しないこと、湾奥で産卵されたアサリ浮遊幼生が来遊して着底する場所であることから⁷⁾、湾奥に流入した淡水が、湾外に流出する過程での影響を受けているものと考えられた。

餌料環境に影響するクロロフィル a を整理した結果、各実験場所ともに冬季にアサリ生息場として望ましい $3.0 \mu\text{g/L}^4)$ を下回る場所の出現が多くなる傾向であり、特に猛島地先で低濃度となることが確認された。濁度は、各実証実験場所ともに、アサリのろ水率に影響するような高濁度な環境が高い頻度で出現しないことが確認された。

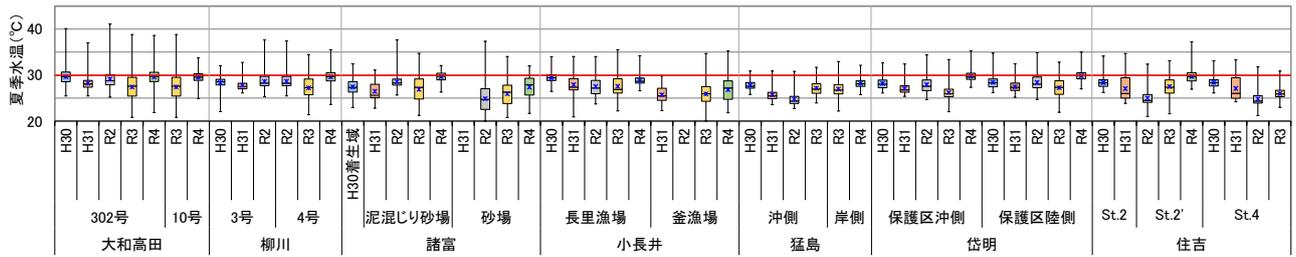


図 26 8月の水温調査結果の箱ひげグラフ

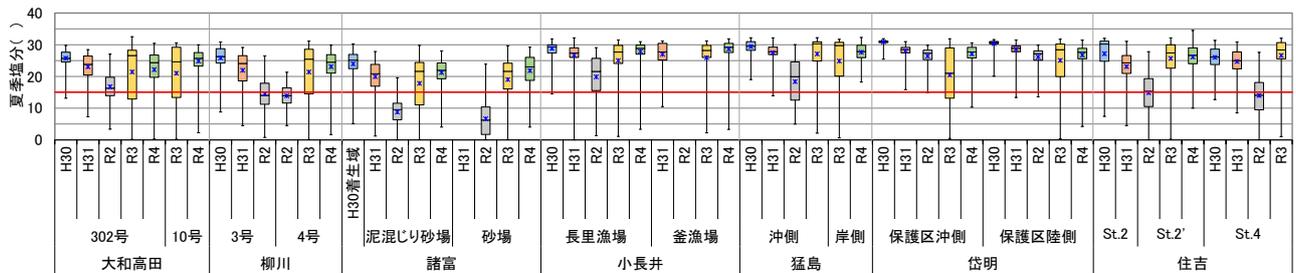


図 27 7～8月の塩分調査結果の箱ひげグラフ

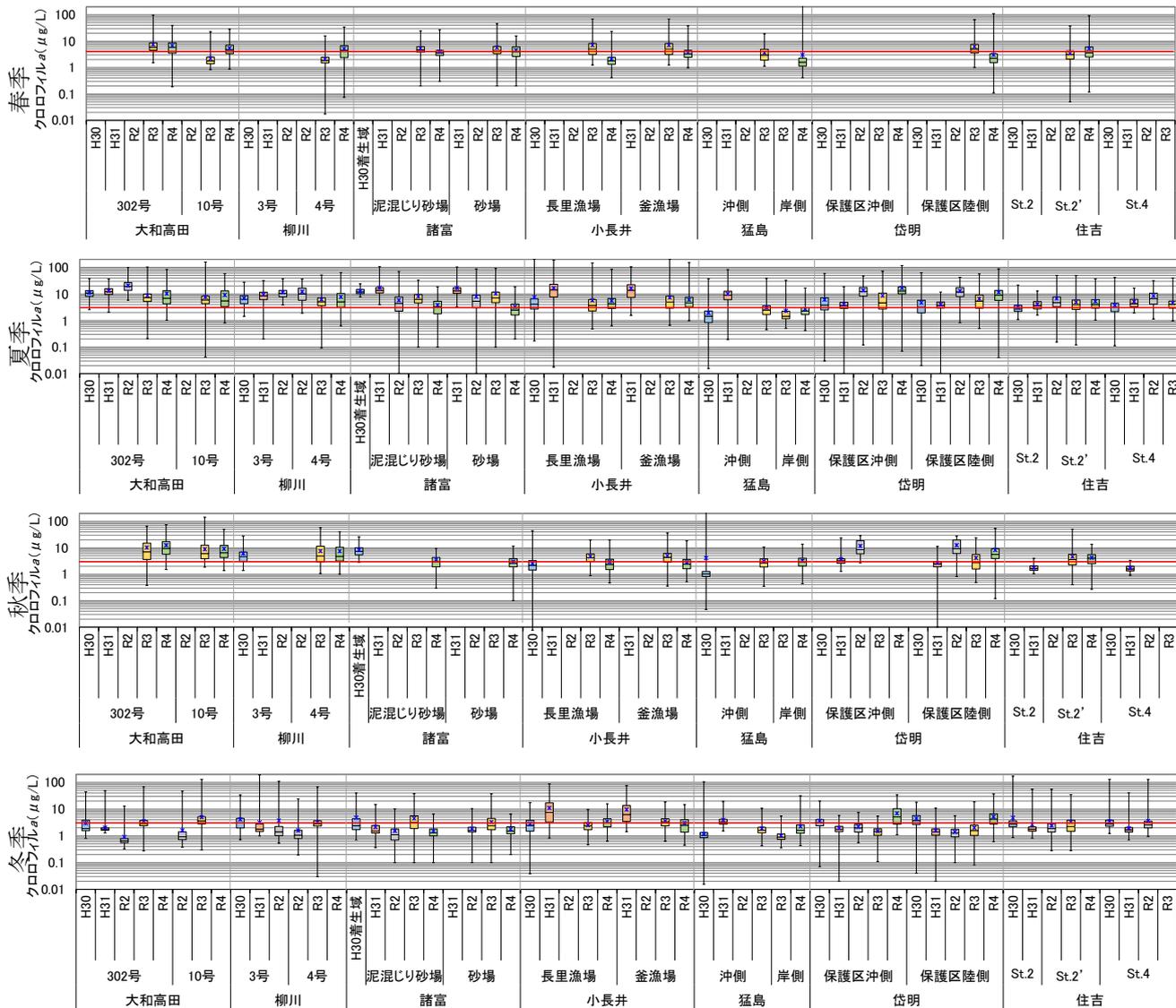


図 28 クロロフィル a 調査結果の箱ひげグラフ

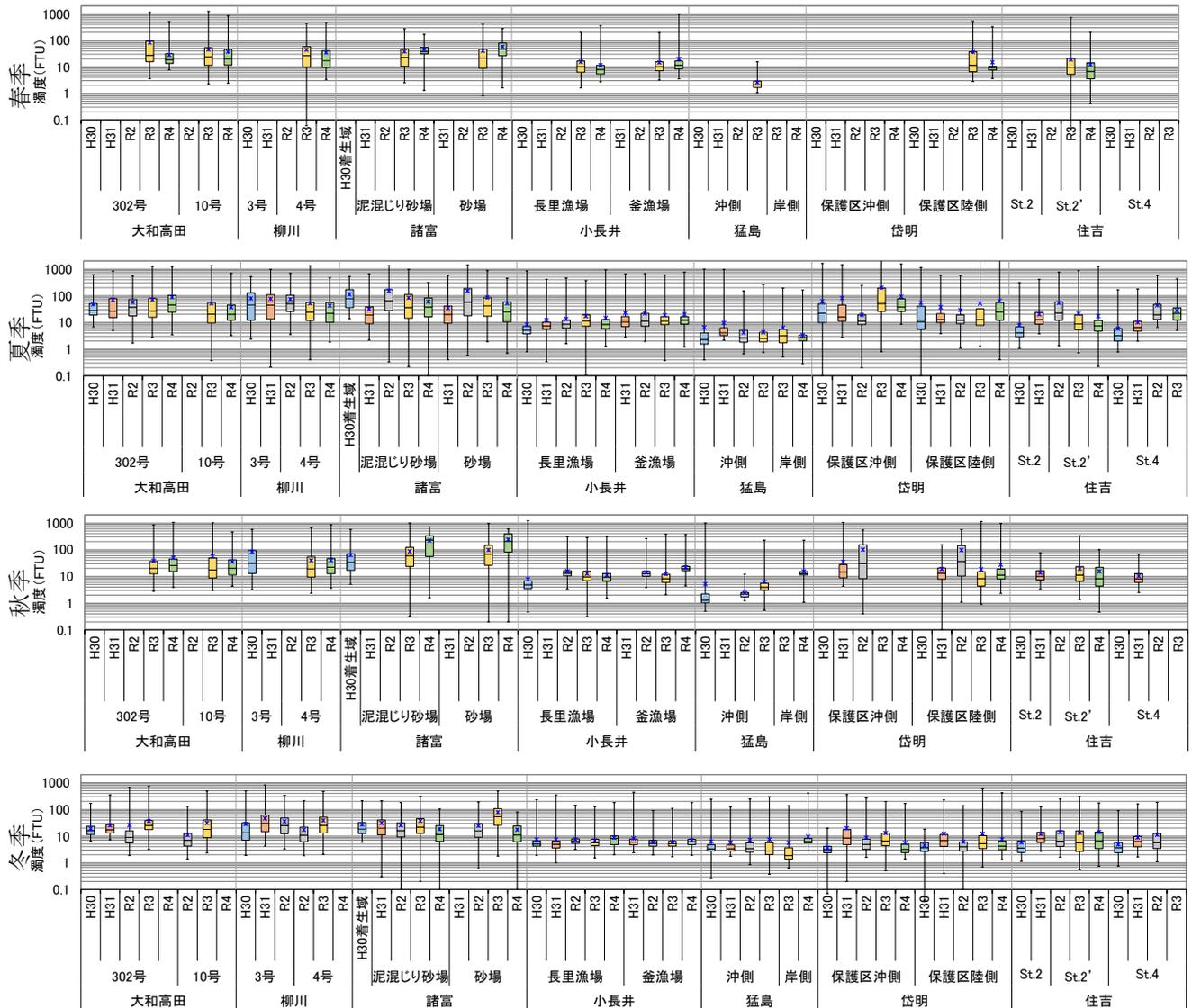


図 29 濁度調査結果の箱ひげグラフ

2.2 アサリの生息状況と環境の検討

2.2.1 アサリの生息状況

(1) アサリ生息密度調査結果

各地先の対照区（現地盤）におけるアサリ生息状況を整理し、図 30 から図 34 に示した。

① 殻長 15mm 以上の成貝

殻長 15mm 以上の成貝で高い生息密度が見られたのは、柳川地先 3 号地区高密度着生域であり、平成 30 年度の 8 月調査時には 4,786 個体/m²が確認された。しかし、その後は減少し、高密度着生域の令和 3 年度 8 月調査時には 33 個体/m²であった。次いで高い生息密度が確認された場所は、諸富地先の平成 31 年度実験区の高密度着生域であり、6 月調査時に 4,100 個体/m²、10 月から翌年 1 月にかけても 1,000~2,000 個体/m²が確認されていた。しかし、令和 2 年度以降では、泥混じり砂場、砂場ともに、殻長 15mm 以上のアサリ成貝は確認されていない。岱明地先新保護区陸側では、平成 31 年度 7 月調査時に 1,368 個体/m²、令和 2 年度の 4 月調査時には 131 個体/m²、令和 3 年度 10 月調査時には 3,816 個体/m²と、令和 3 年度に高い生息密度が確認された。その後、令和

4年度6月調査時まで約1,000個体/m²で推移したが、8月以降に減少し、令和5年1月調査時には確認されていない。住吉地先では、平成30年度から実験を行っているSt.2では、平成30年度で1,468~1,984個体/m²であったが、平成31年度は6月に1,666個体/m²が確認されたのち減少し、翌年1月には33個体/m²となった。しかし、令和3年度は10月に866個体/m²が確認された。令和2年度からの実験区であるSt.2'は、生息密度が低く令和5年1月に確認された453個体/m²が最も高い生息密度であった。

上記の各地先のほか、大和高田地先302号地区や10号地区では、アサリ成員の出現は確認されておらず、小長井地先では平成30年10月調査時に長里漁場の沖側で、2,000個体/m²程度の生息密度が確認された他は、殆ど確認されていない状況が継続している。猛島地先で最も高い生息密度が確認されたのは、岸側で令和2年度10月調査時に100個体/m²程度であった。

② 殻長1~15 mmの稚貝

殻長1~15 mmの稚貝では、平成31年度から調査が実施された岱明地先新保護区陸側で高い生息密度が確認され、平成31年度5月調査時で52,470個体/m²、令和3年度の6月調査時においても35,461個体/m²が確認された。しかし、その後減少し、令和4年度では8月調査時の91個体/m²が最多であった。次いで小長井地先長里漁場沖側で高い生息密度が確認され、平成30年度8月調査時に5,475個体/m²、令和3年度5月にも1,532個体/m²が確認された。大和高田地先10号地区においても、令和4年度10月調査までは確認されても100個体/m²未満であったが、12月調査時に5,350個体/m²が確認された。なお、この12月調査時の殻長を確認すると、3mm以下の小さな個体が殆どであった。住吉地先St.2'においても令和2年度8月調査時に4,133個体/m²の生息密度が確認され、その後減少したが、令和4年度5月調査時に2,873個体/m²が確認された。猛島地先では岸側において令和4年度の5月調査時に1,181個体/m²が確認され、その後個体数は減少したが、各回の調査で稚貝が確認された。この他の調査場所では、稚貝の生息は確認されず、もしくは確認されていても諸富地先の平成31年度着生域で11月調査時の466個体/m²が最多であった。

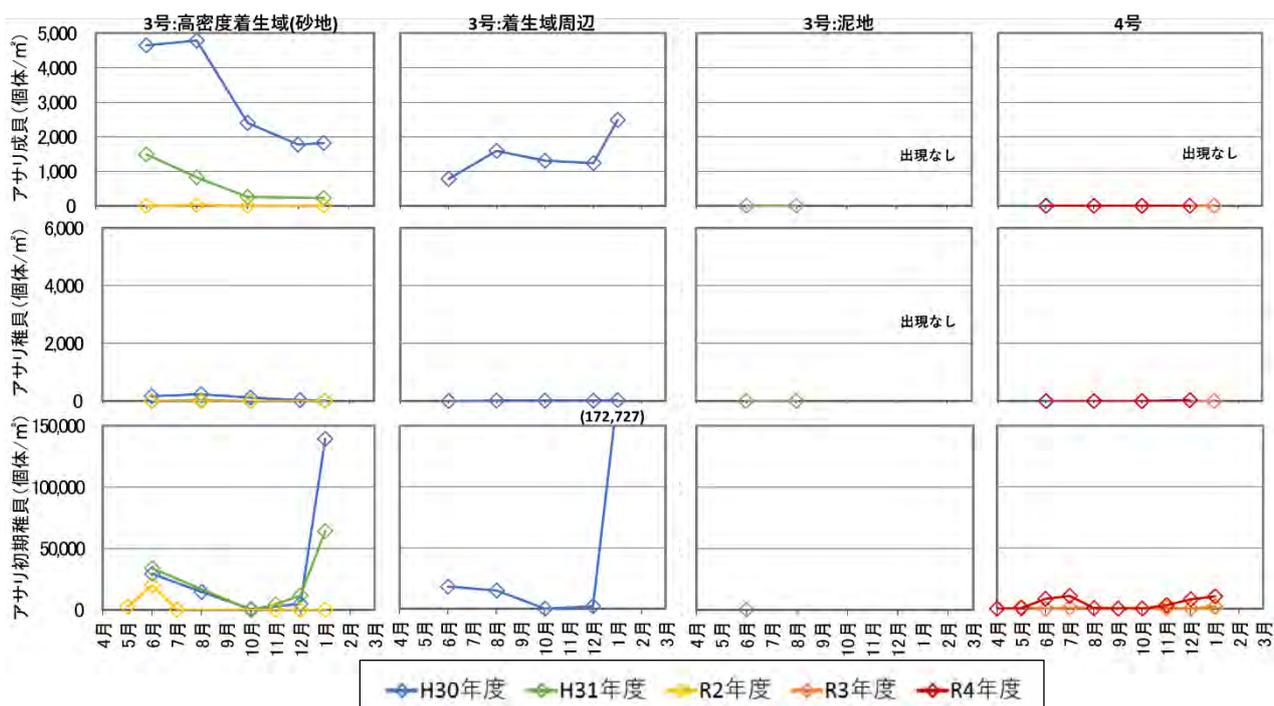
③ 殻長1mm未満の初期稚貝

初期稚貝(殻長1mm未満)は、春季の産卵盛期後(5~7月)と秋季の産卵盛期後(11~1月)に各地先で着生が確認されており、春季で最も高密度で確認されたのは小長井地先釜漁場沖側で、令和4年度6月調査時に254,679個体/m²が確認された。また、長里漁場沖側でも同時期の調査で73,723個体/m²が確認され、同漁場岸側では令和4年度5~7月の調査にかけて約40,000個体/m²以上が確認された。他の調査場所では、猛島地先岸側で令和4年度6月調査時に61,994個体/m²、柳川地先3号高密度着生域(砂地)で平成31年度6月調査時に33,626個体/m²、諸富地先泥混じり砂場で令和2年6月に23,836個体/m²、住吉地先St.2では4月に15,341個体/m²が確認され、岱明地先新保護区陸側では5月調査時に14,000個体/m²であった。

秋季で最も高密度で確認されたのは岱明地先新保護区陸側で、平成31年度1月調査時に276,112個体/m²が確認された。他の場所では、柳川3号地先着生域周辺で平成30年度1月調査時に172,727個体/m²、住吉地先St.2で、平成31年度10月調査時に152,712個体/m²、猛島地先で令和4年度12月調査時に沖側で112,260個体/m²、岸側で85,452個体/m²、確認された。また、大和高田地先

10号地区では令和4年度12月調査時に69,036個体/m²、令和5年度1月調査時も55,411個体/m²が確認された。過年度調査になるが、小長井地先長里漁場においても、平成31年度12月調査時に沖側で65,151個体/m²、岸側で42,727個体/m²が確認され、諸富地先砂場では平成31年度1月調査時に40,905個体/m²であった。大和高田地先302号地区では春季、秋季を問わず初期稚貝の生息密度が低く、平成31年度12月調査時の2,322個体/m²が最多であった。

柳川地先



大和高田地先

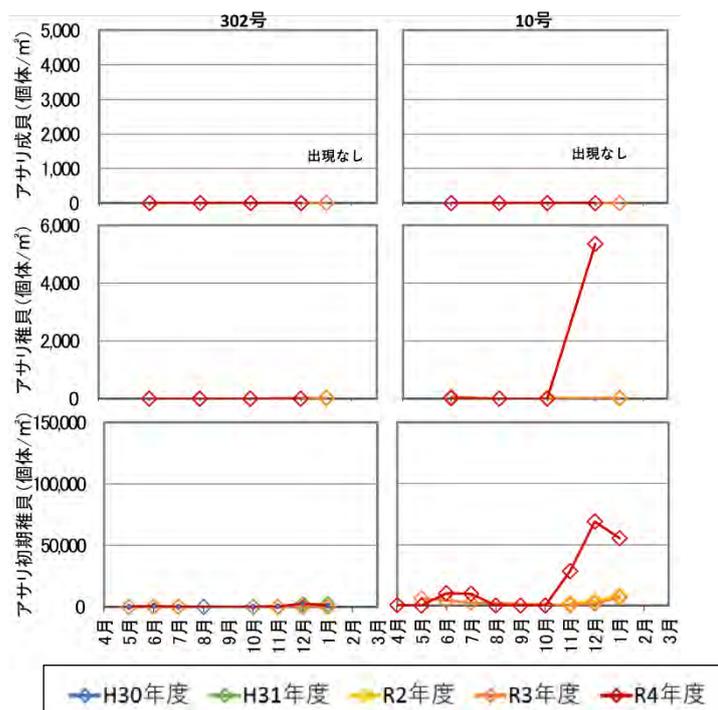
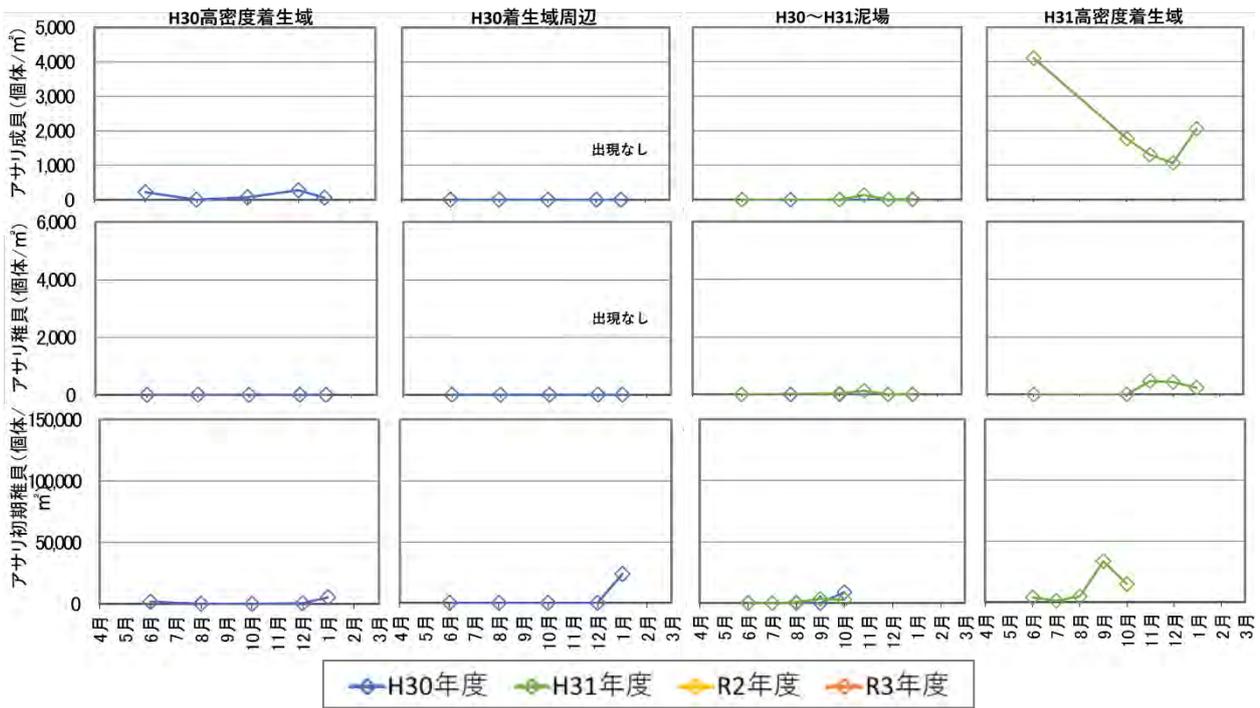


図 30 福岡県の各実験場所のアサリ生息密度調査結果 (個体/m²)

(成貝; 殻長 15mm 以上、 稚貝; 殻長 1mm 以上 15mm 未満、 初期稚貝; 殻長 1mm 未満)

諸富地先



諸富地先

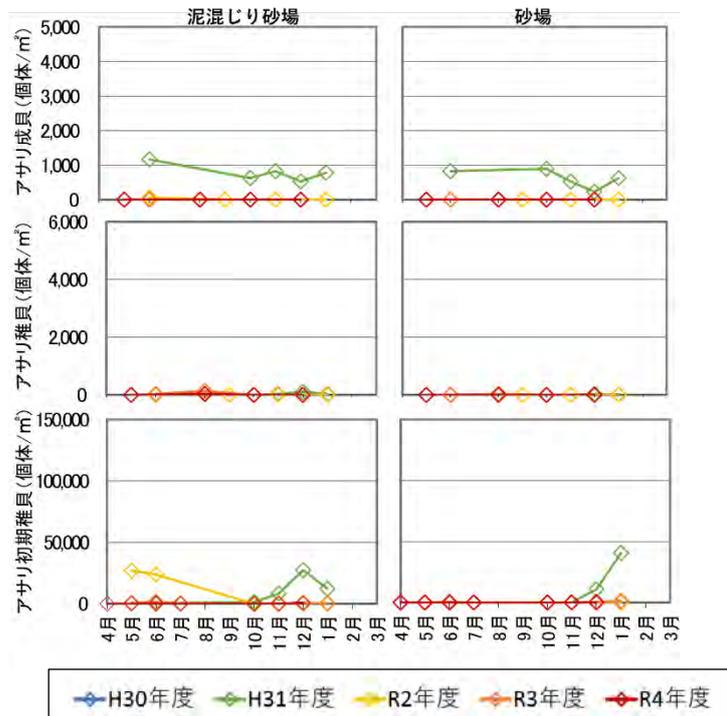
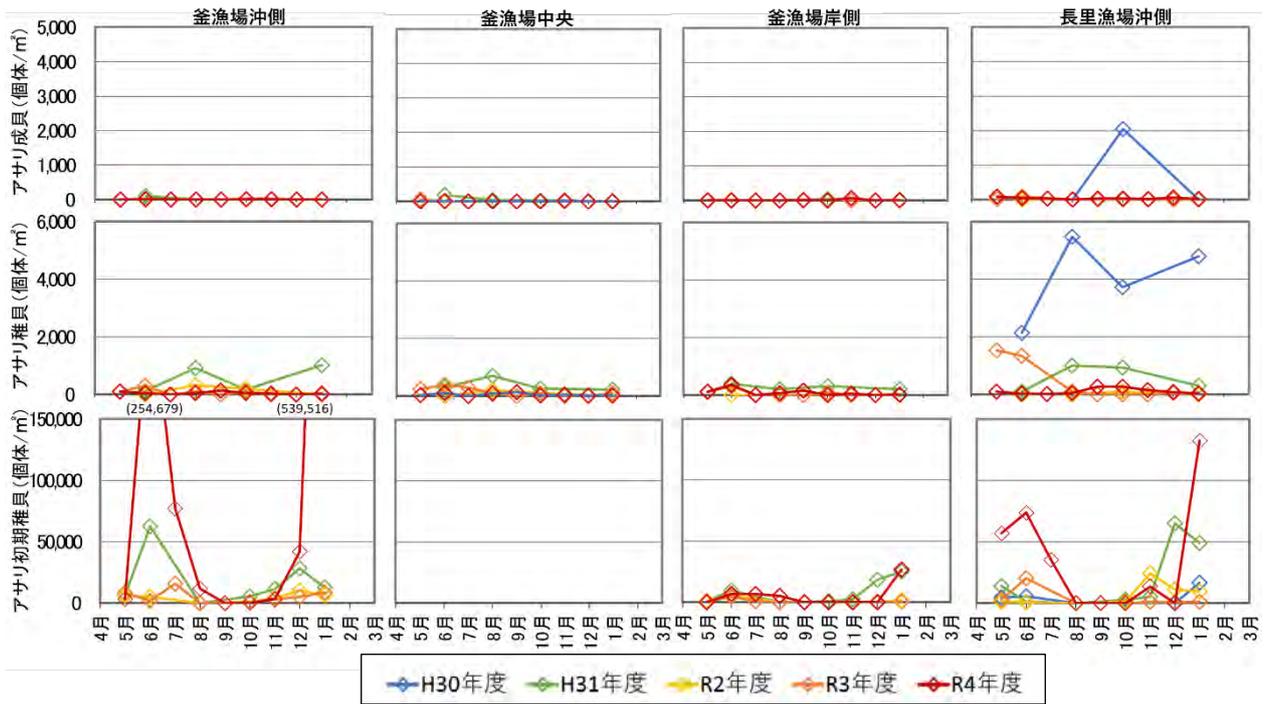


図 31 佐賀県の各実験場所のアサリ生息密度調査結果 (個体/m²)

(成貝; 殻長 15mm 以上、 稚貝; 殻長 1 mm以上 15mm 未満、 初期稚貝; 殻長 1 mm未満)

小長井地先



小長井地先

猛島地先

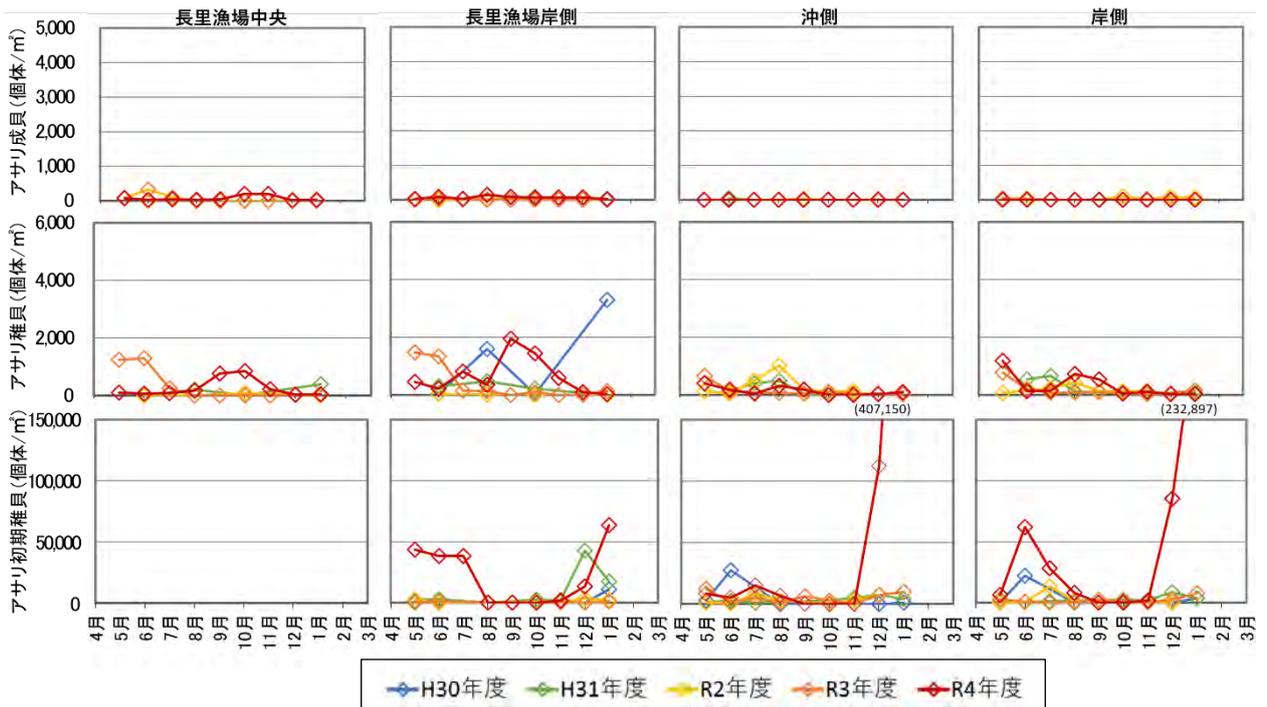
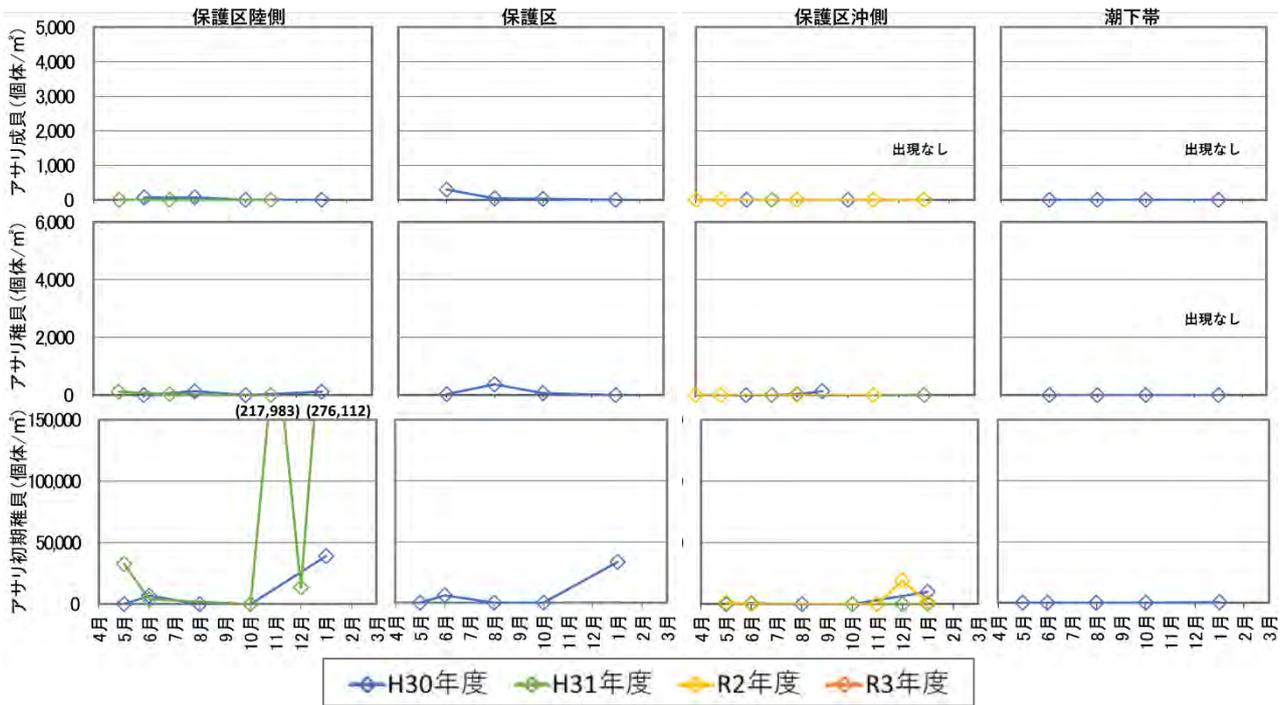


図 32 長崎県の各実験場所のアサリ生息密度調査結果 (個体/m²)

(成貝; 殻長 15mm 以上、 稚貝; 殻長 1 mm 以上 15mm 未満、 初期稚貝; 殻長 1 mm 未満)

岱明地先



岱明地先

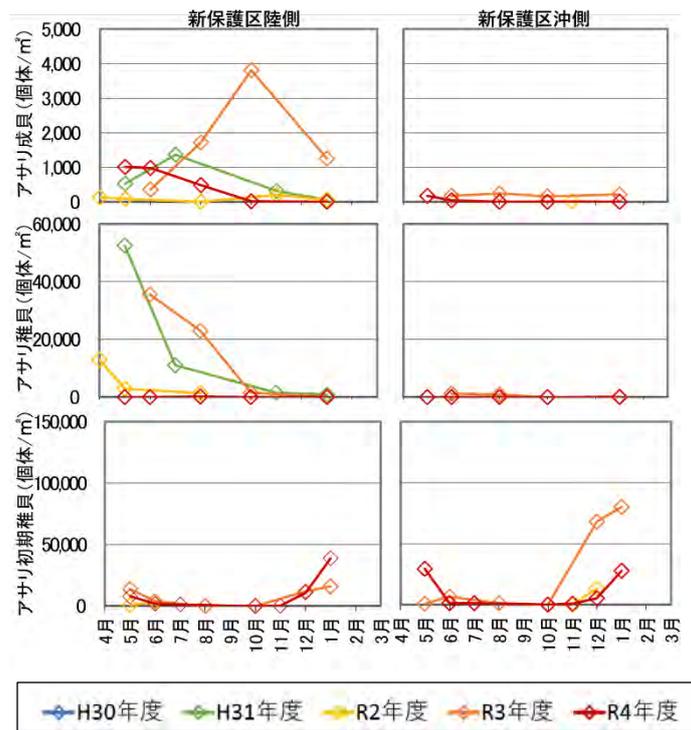


図 33 熊本県岱明地先の各実験場所のアサリ生息密度調査結果 (個体/m²)
 (成貝; 殻長 15mm 以上、 稚貝; 殻長 1 mm 以上 15mm 未満、 初期稚貝; 殻長 1 mm 未満)

住吉地先

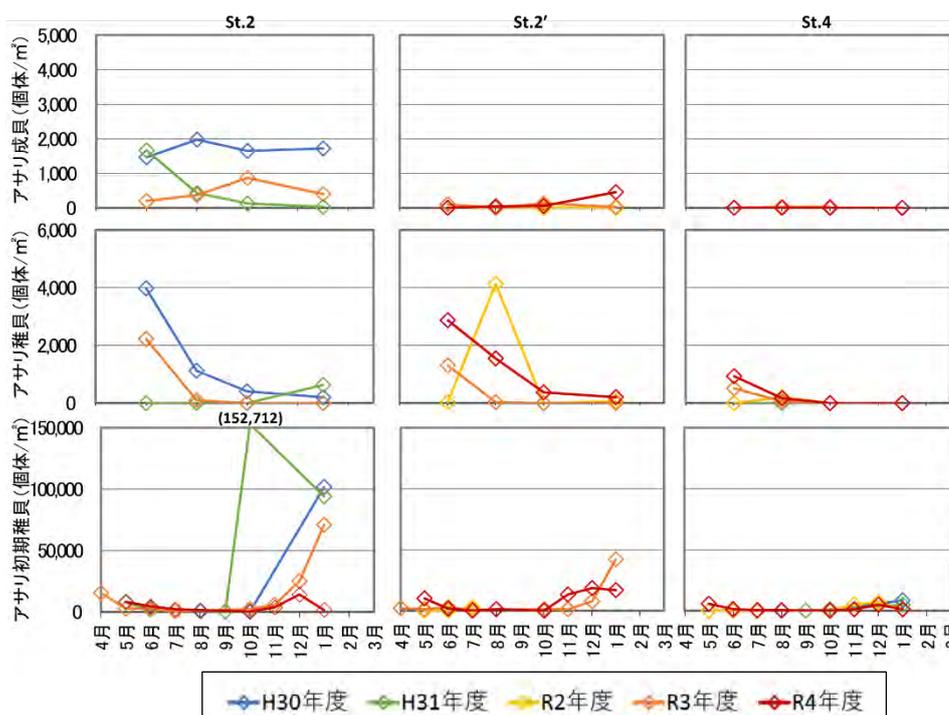


図 34 熊本県住吉地先の各実験場所のアサリ生息密度調査結果 (個体/m²)

(成貝；殻長 15mm 以上、 稚貝；殻長 1 mm以上 15mm 未満、 初期稚貝；殻長 1 mm未満)

(2) 殻長別の最大個体数の分布

図 35 および図 36 には、実験場所・実施年度別に現地盤で確認されたアサリ（1 mm篩に残留したアサリ）の殻長 1 mmごとの 1 平方メートル当たりの最大個体数の分布を散布図で示した。なお、図中の灰色および緑色の折れ線は、それぞれ平成 29 年度までの関連事業、および本事業で調査が実施された全実験場所を対象とした場合の殻長 1 mmごとの最大個体数である。

各実験場所の殻長別の最大個体数の状況を見ると、湾奥の柳川地先 3 号地区と諸富地先で殻長約 20 mm 以上のアサリが最も多く確認され、平成 30 年度よりも平成 31 年度で殻長の大きなサイズが多くなる傾向が確認された。今年度は、岱明地先保護区陸側で多くの個体数が確認された。その他の調査場所では、岱明地先保護区沖側、住吉地先 St. 2' において、数十から 100 個体/m² 程度の個体数が確認された。

殻長約 20 mm 未満のアサリについては、岱明地先保護区陸側で個体数が最も多く、平成 31 年度には殻長 6~7 mm の稚貝で約 10,000 個体/m² の個体数が確認された。令和 2 年度には 1 オーダー程度少ない生息数に下がっていたものの、令和 3 年度には平成 31 年度と同程度にまで多い個体数が確認された。その他の調査場所では、小長井地先長里漁場、釜漁場、猛島地先、住吉地先 St. 2'、St. 2 において、数十から 1,000 個体/m² 程度の個体数が確認された。

湾奥の柳川地先や諸富地先では、平成 30 年度、平成 31 年度には殻長約 20mm 以上のアサリが最も多く確認されていたが、令和 2 年 7 月豪雨、令和 3 年 8 月大雨による淡水化の影響と推測されるアサリのへい死が確認され、今年度においてもアサリの生息は殆ど確認されなかった。

大和高田地先 10 号地区、住吉地先 St. 4 では、これまでアサリの生息は確認されていなかったが、今年度調査において各実験場所でアサリの生息が確認された。(←グラフでは、大和高田 10 号は R3 年度にも、住吉 St. 4 は R2 年度と R3 年度にもアサリが採取されたことになっています)

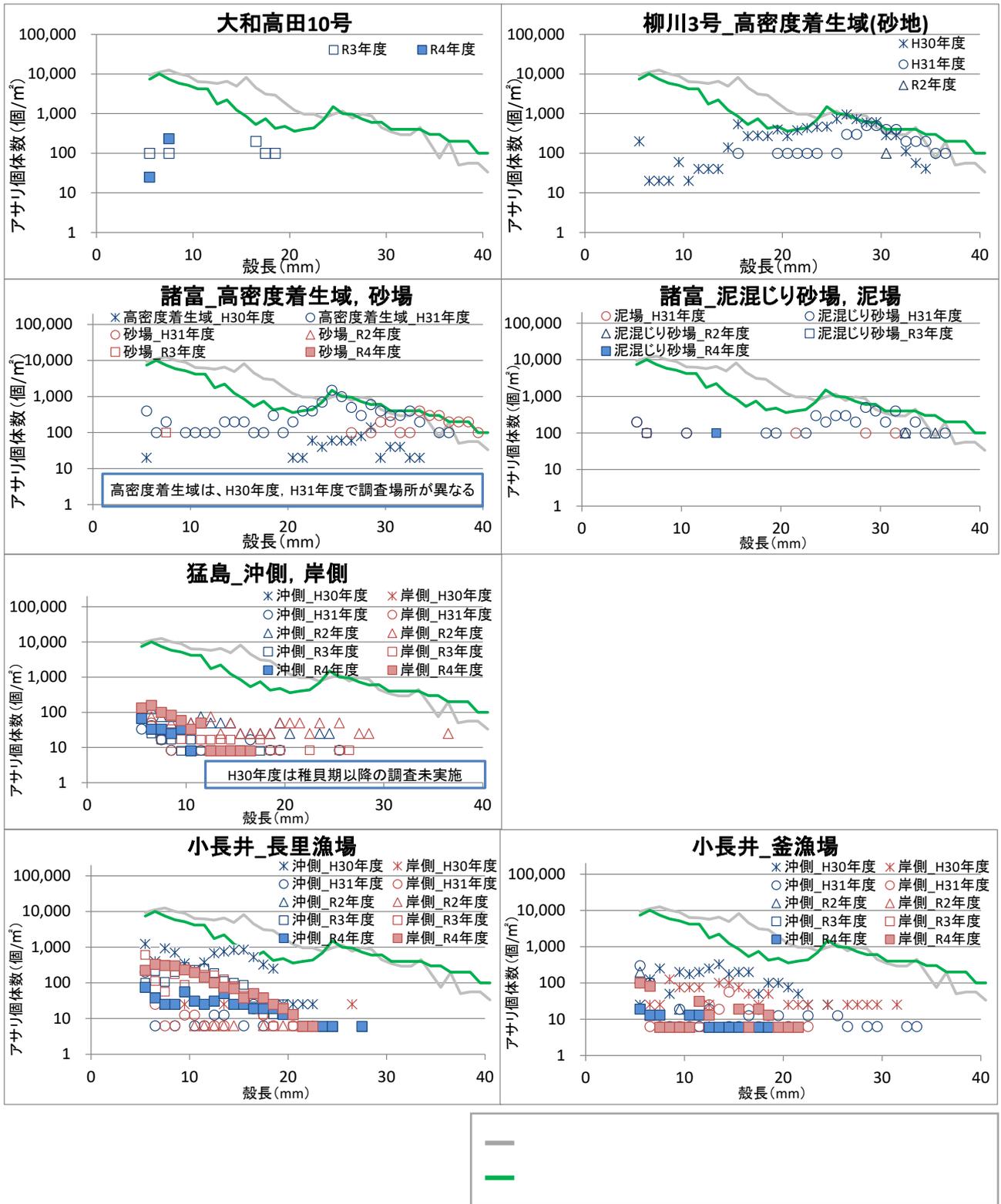
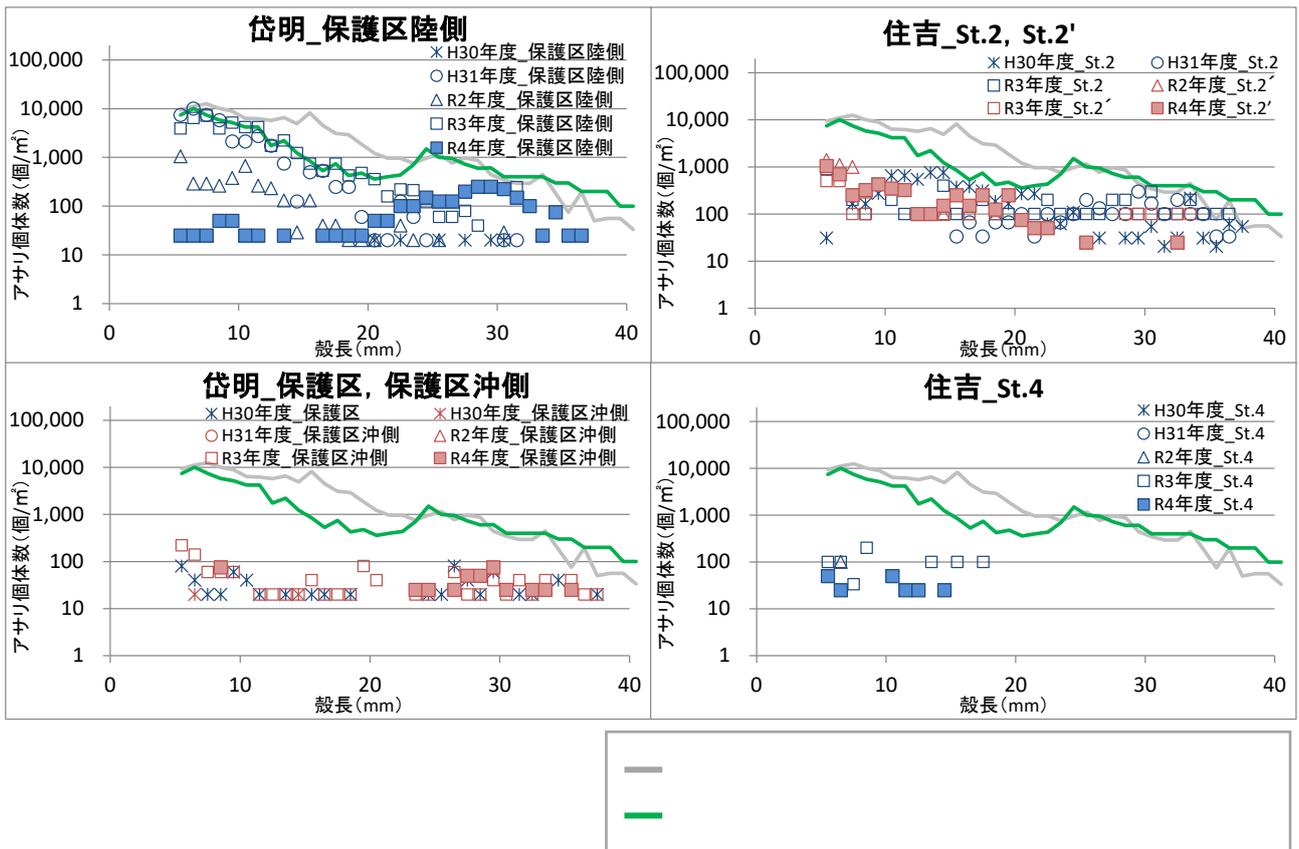


図 35 福岡県，佐賀県，長崎県の各実験場所・各実施年度の殻長別最大個体数の分布



- 関連事業（平成 25～29 年度）の全実験場所を対象とした殻長別最大個体数
- 本事業（平成 30～令和 3 年度）の全実験場所を対象とした殻長別最大個体数

図 36 熊本県の各実験場所・各実施年度の殻長別最大個体数の分布

2.2.2 大雨による影響の検討

近年、記録的な大雨の発生による河川からの淡水流入の増加や土砂堆積により、アサリが大量へい死する被害が報告されている⁸⁾。令和3年度では8月11日から19日にかけて活発な前線の影響による大雨が発生し、九州北部地域では24時間降水量が多いところで500ミリを超える大雨となった⁹⁾。各地先で取得されている塩分の長期連続観測結果より、大河川の河口近傍に位置する実験場所で塩分15以下の低塩分環境の継続が確認され、特に佐賀県諸富地先では、15.8日間の継続となった。

今年度も各実験場所で塩分の長期連続観測が実施されており、図37に示す結果が得られた。なお、図中には塩分15に赤線を付した。今年度は昨年度のような災害に繋がるような大雨は発生せず、昨年度同様に塩分15以下の低塩分環境の継続日数を整理した結果、図38に示した様に湾奥の大河川の河口近傍でも、7月の大雨後に約1.0日程度の継続であった。

この大雨発生時におけるアサリ生残への影響を検討するため、昨年度までの大雨による影響を受けた調査結果も含めて、大雨前後に実施された各地先の実験結果より月あたり生残率を求め、低塩分最大継続日数との関係を図39に示した。

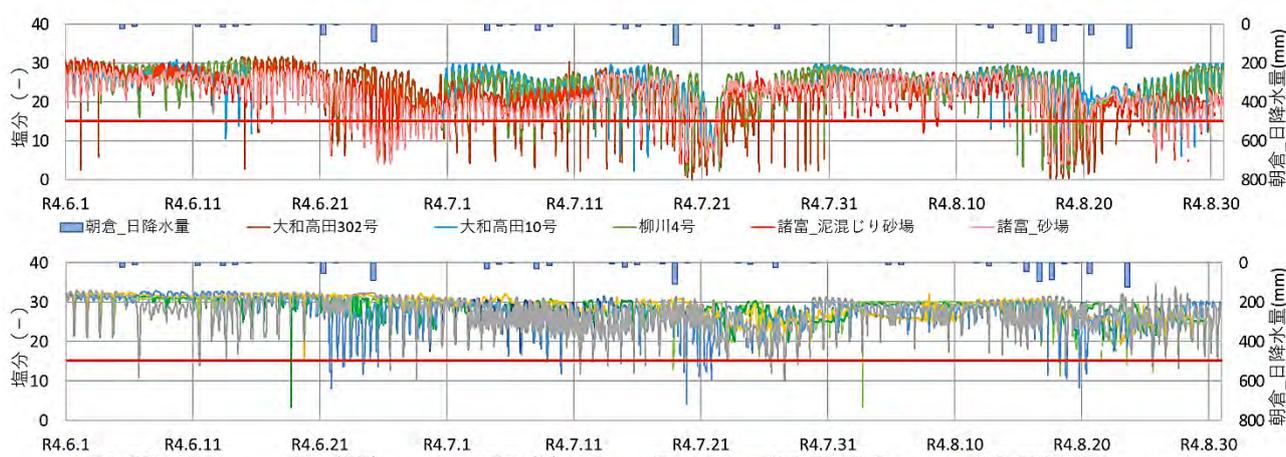


図37 各地先の塩分連続観測結果と日降水量（6月～8月）
（日降水量は福岡県朝倉市の値）



図38 7月における低塩分（15以下）の最大継続日数

殆どの調査結果で低塩分の最大継続日数は3.5日以下であったが、令和3年度の大雨により低塩分最大継続日数が最長となった諸富地先の2地点（各○日および○日）では、生残率が大きく低下していることが確認され、低塩分最大継続日数が長くなると生残率が低下する可能性が推察された。（←数行前で既に説明済みでは？）

令和2年度の諸富地先では7月豪雨時に11.9日の最大継続日数が確認された。この調査を挟んだ調査は、7月5日と9月20日であり、9月調査時の生残率は0%であった。この調査結果を月あたり生残率に換算すると約60%であるが、7月豪雨による影響が大きいと考え、図39では生残率0%でプロットした。（←0%にする根拠が弱いと思われます。豪雨後2か月以上経過した生残率のためこのような操作を行ったということであれば、そのようなデータは最初から省いて作図したうえで、本文内で「令和2年度9月の生残率0%は図と矛盾しない」などと説明した方が良いでしょう。）

しかしながら、低塩分最大継続日数が3.5日以上となる例が少ないため、現地における生残率と低塩分最大継続日数の関係についてさらに検討するためには、今後も実験場所における長期の水質連続観測の実施が望まれた。

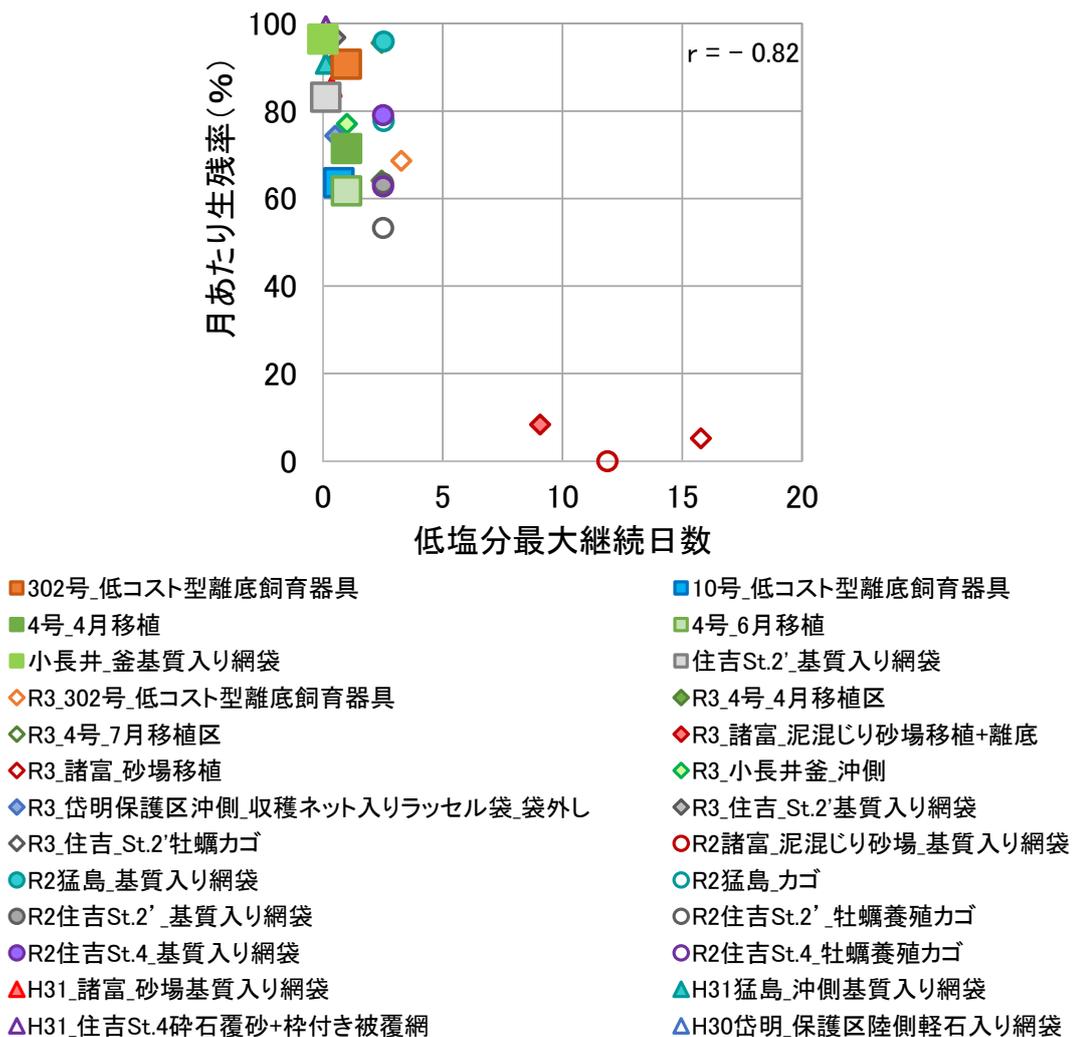


図39 大雨前後の調査結果より求めた月あたり生残率と低塩分最大継続日数の関係

図 40 に示す各地先の水温連続観測結果を見ると、各地先において干出前後で一時的な高水温が観測された。8 月における高水温（30℃以上）の継続時間を整理すると（図 41）、柳川地先、岱明地先、住吉地先において、高水温が 4 日間以上継続していることが確認された。このような水温環境もアサリの生残に影響していると推測された。（←これは本文で説明するべきです。）

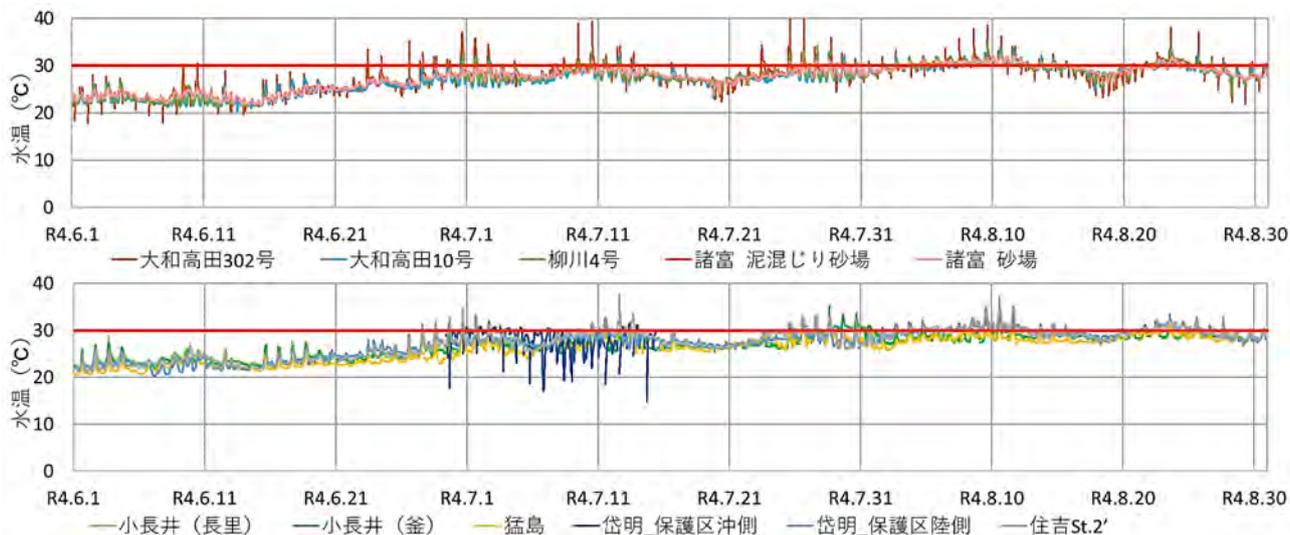


図 40 各地先の水温連続観測結果（6～8月）

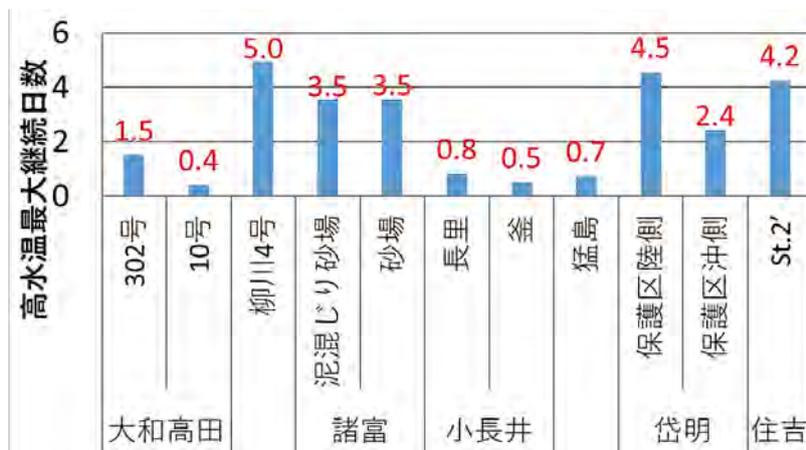


図 41 8 月における高水温（30℃以上）の最大継続日数

2.2.3 アサリ個体数と環境の検討

(1) 利用データ及び検討方法

アサリの生息状況と環境因子との関係を検討するために、平成 29 年度までの関連事業⁵⁾の調査結果も含めて、各調査時のアサリ個体数及び物理、水質、底質の各調査結果を用いた。なお、アサリ生息の有無は、殻長 1～15 mm を稚貝、15 mm 以上を成貝として解析に用いた。

検討に用いた環境要因は表 35 に示す通りであり、過年度の解析結果を参考に、物理環境としては、地盤高と流速調査結果より算定された底面摩擦速度を利用した。水質環境には、先に検討した塩分 15 未満の最大継続時間と水温 30℃以上の最大継続時間を利用した。

表 35 アサリ個体数との関係の検討に用いた項目

物理	地盤高, 底面摩擦速度
水質	塩分 15 未満の最大継続時間, 水温 30℃以上の最大継続時間
底質	シルト・粘土分, 強熱減量, COD, 硫化物, 粒径 0.5mm 以上の割合, 含水率

上記の各項目と成貝（殻長 15mm 以上）及び稚貝（殻長 1～15 mm）の個体数の関係を見るために求めた相関係数は、表 36 に整理した通りであり、個体数と個々の環境要因の間に明瞭な関係は確認されなかった。

しかし、アサリの生息には、様々な環境要因が複合して影響していると考えられることから、多変量解析による検討を実施した。多変量解析を実施する場合、独立変数（説明変数）同士で高い相関を持つと、回帰係数が推定出来なくなるなど不安定な解析となる。このような現象を多重共線性と言うが、これを回避するために、村松ら¹⁰⁾を参考として、分散拡大要因 (Variance Inflation Factor VIF) を求めて確認した。分散拡大要因は、 $VIF=1/(1-R^2)$ で求められ、VIF が 10 以上（相関係数で約 0.95 以上）となると多重共線性の発生が疑われるが、VIF が 10 以上となるような環境要因は見られなかった。

ここで取り扱う関連事業成果を含めた各実証実験場所のアサリ生息状況は、場所によって大きく異なり、さらに同一場所でも年によって発生状況に変化が見られている。場所による違いや、調査年による違いは、例えば浮遊幼生の来遊量など、調査が実施されていない要因が影響していることが考えられる。多変量解析手法の一つである一般化線形混合モデルでは、これら要因をランダム要因として考慮することができることから、アサリ個体数と環境要因の解析に本モデルを利用した。

得られた各解析結果より、アサリ生息に影響する要因を比較検討した。

なお、このような統計解析では解析に利用するデータセット数が多くある事が望まれる。関連事業も含めた調査結果では、アサリ生息状況や底質調査は年 4 回以上実施されているが、水質調査や流況調査は多くが年 2 回の実施である。また、底質調査においても、粒度分析等の一部項目のみの調査も存在する。

そこで、水質項目として利用する塩分 15 未満の最大継続時間と水温 30℃以上の最大継続時間については、両環境ともに主に夏季調査時に確認されることが多く、このような場合は、春季調査