

地下海水を用いた陸上養殖適地調査事業報告書

事業の目的:

本事業は、養殖適地の拡大等のため、地下海水を活用した陸上養殖の適地調査を行うことを目的としている。

背景:

近年の我が国養殖業の生産量は減少傾向にあるものの、天然資源の減少等に伴う漁船漁業生産量の減少により、漁業・養殖業生産量全体に占める割合は 2 割台前半を維持している。一方、全世界では、天然資源の利用がほぼ満限状態にあり漁船漁業生産量が横ばいとなる中、藻類養殖や内水面養殖の生産量が大幅に増加した結果、平成 25 年以降、漁業・養殖業生産量全体に占める割合が 5 割を超えるなど、世界的な水産物需要の高まりへの養殖業の果たす割合は極めて重要になっている。

我が国魚類養殖では、廃業に伴う集約化等により経営規模の拡大が進むとともに、地域と協調した企業参入が見られるが、養殖業の成長産業化を図るためには、養殖生産の 3 要素(餌、種苗、漁場)等に関するボトルネックの克服に向けた技術開発・調査を実施することが必要となっている。

養殖可能な静穏水域が少ない我が国における養殖業の発展のためには、自然環境等に左右されない陸上での養殖適地を開発することが必要である。特に、水温が周年安定している清浄な地下海水を活用した陸上養殖については、波浪が激しい日本海等において有望な養殖手法である。

事業実施内容:

1. 調査地

優良な地下海水を得られた場合に、将来の陸上養殖の事業化に適していると推測される地政学的に有利な要素を有し、かつ調査の許可を得るため管理者(自治体)との事前打ち合わせを重ねた結果として、管理者との協議が整った ①脇田漁港、②道越漁港、③仙崎漁港、④唐房漁港、⑤江ノ島片瀬漁港の5箇所を調査地として選定した。さく井は深度 50m とし、地下 0~15m ほどはマスクして取水孔を設けず、これより深い部分の数カ所に取水孔を設けて揚水する井戸に仕立てた。採水された地下海水は地下 15~50m より取水されたものである。

調査地 5 箇所の住所は次の通り。

- ① 脇田漁港・・・福岡県北九州市若松区安屋
- ② 道越漁港・・・佐賀県藤津郡太良町道越
- ③ 仙崎漁港施設用地・・・山口県長門市仙崎
- ④ 唐房漁港・・・佐賀県唐津市唐房
- ⑤ 江ノ島片瀬漁港・・・神奈川県藤沢市片瀬海岸

以下に、詳しい地下海水の取水ポイントを図示した。

① 脇田漁港(福岡県北九州市若松区安屋)

脇田漁港施設用地内のさく井場所 (ひびき灘漁協所有地)



脇田漁港施設用地内のさく井場所 (ひびき灘漁協所有地)



脇田漁港施設用地内のさく井場所 (ひびき灘漁協所有地)



② 道越漁港(佐賀県藤津郡太良町道越)

道越漁港施設用地内のさく井場所 (太良町管理)



道越漁港施設用地内のさく井場所 (太良町管理)

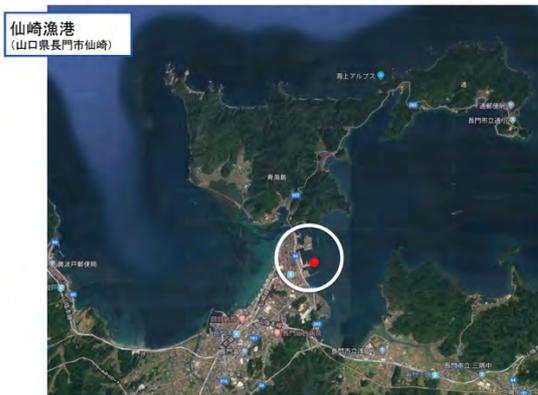


道越漁港施設用地内のさく井場所 (太良町管理)



③ 仙崎漁港施設用地（山口県長門市仙崎）

仙崎漁港施設用地内のさく井場所（山口県管理）



仙崎漁港施設用地内のさく井場所（山口県管理）

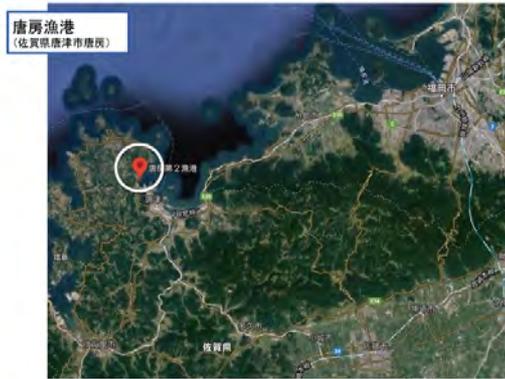


仙崎漁港施設用地内のさく井場所（山口県管理）



④ 唐房漁港（佐賀県唐津市唐房）

唐房漁港施設用地内のさく井場所（佐賀県管理）



唐房漁港施設用地内のさく井場所（佐賀県管理）



唐房漁港施設用地内のさく井場所（佐賀県管理）



⑤ 江ノ島片瀬漁港（神奈川県藤沢市片瀬海岸）

江ノ島片瀬漁港施設用地内のさく井場所（藤沢市管理）



江ノ島片瀬漁港施設用地内のさく井場所（藤沢市管理）



江ノ島片瀬漁港施設用地内のさく井場所（藤沢市管理）



2. 各調査地における試験概要

① 脇田漁港（福岡県北九州市若松区安屋）

漁港施設用地内でのさく井工事を完了した後、水質安定化のためにポンプによる1週間以上の予備的揚水を終えた後、井水の水質調査を行った。水温についてはロガーによる経時的温度測定を二ヶ月以上実施した。水質については、鉄分過多の水質であり、養殖には不適な水質と考えられる。この場所での井水を養殖に使用するには沈降槽ないしフィルターシステムの設置による水質改善が必要であることから、簡易に低コストのフィルターを使った水処理を試みたが、簡易フィルターでの水質改善は難しいことが判明した。弊社が本調査事業とは別に独自で行なった地下海水調査において得られた水質と比較すると、同じ地

層と思われる本漁港における地下海水の水質不良は際立っており、単純な地層の土質に反映されたものだけとは考えられず、漁港造成時に用いた土砂による水質汚染が原因していると推測される。

② 道越漁港（佐賀県藤津郡太良町道越）

当初、佐賀県白石町にある新有明漁港において調査を実施する予定で、さく井工事を進めていたところ、地元業者からの情報により、同所近隣において現地漁協の依頼によるさく井工事が過去に二度実施されていたことが分かった。当該請負事業者の好意によって水質検査書を閲覧できたところ、揚水にはほとんど塩分が含まれないことが知れた。同地域の広範な土地においては用水河川とクリークが良く整備されているために、海岸堤防より陸側において陽水された水にはほとんど塩分が含まれないものと考えられる。そのため、有明海沿岸地域の代替漁港を地元有明海漁協と協議して、道越漁港施設用地内を調査地とすることになり、さく井工事を実施した。工事完了後に予備的揚水を一週間行ってから水質検査を行った。その結果、本漁港における井水の水質は極めて清浄である一方、塩分をほとんど含まない地下水であり、本調査目的である地下海水を得ることができなかった。そのため、準備していた試験魚（シマアジとトラフグ）の飼育試験は実施できなかった。しかし、淡水魚の養殖には使用できると考えられるため、今後、井水を使った淡水魚の飼育について調査することも有益であろうと思われた。

③ 仙崎漁港施設用地（山口県長門市仙崎）

管理者である山口県の支援を受け、現場管理者である長門農林水産事務所との打ち合わせに基づき、漁港施設用地内でのさく井工事を実施した。ポンプを設置後、3日間の予備的揚水を実施してから簡易検査を行った結果、とくに問題は無く、養殖に適した水質と思われたため、試験魚を用いた飼育試験をすることとした。試験魚として、弊社が準備していたシマアジとトラフグに加え、最近になって山口県が国内で初めて人工孵化に成功したシロアマダイを山口県水産研究センターより供給を受け、飼育試験に用いた。

④ 唐房漁港（佐賀県唐津市唐房）

水産業の盛んな北部九州における調査地が必要と判断したことから玄海地域の調査地を探した結果、佐賀県が水産試験場を運営する唐津地域で協力が得られることになり、玄海地域の唐房漁港を調査地として選定し、調査を実施した。しかし、さく井工事を完了して水質調査に入った時期に現場管理者より早期の調査終了を要望されたことから、飼育試験の実施が困難となったことから現地での飼育試験は断念し、地下海水を社内に持ち帰り代替策としての室内観賞魚による飼育試験を実施した。

⑤ 江ノ島片瀬漁港（神奈川県藤沢市片瀬海岸）

都内向けの活魚のストックヤードとしての役割を検討している江ノ島片瀬漁協の協力を得られたことから江ノ島片瀬漁港施設内での水質調査を実施した。また、さく井工事後に揚水された地下海水の水質は良好ではなく、試験魚の飼育は困難であったことから試験魚の飼育は実施できなかった。

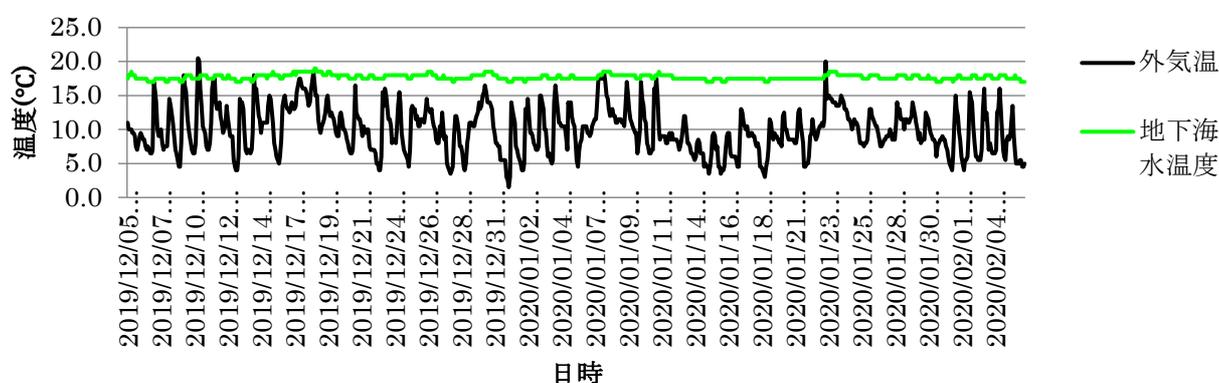
3. 地下海水の塩分濃度および水温

揚水された地下海水の温度の塩分濃度は各調査地において異なっていた。海水を基準にした場合、①脇田漁港は海水とほぼ同濃度を示した一方、②道越漁港はまったくの淡水であった。③仙崎漁港は海水の 1/3 程度の塩分濃度、④唐房漁港はそれよりやや低い濃度、⑤江ノ島片瀬漁港は海水の 1/2 程度の塩分濃度を示した。塩分濃度からみると、②道越漁港以外の調査地における塩分濃度は養殖に可能な範囲内の塩分濃度であった。

揚水された地下海水の温度はいずれも20℃を若干下回る程度であった。多各調査地において揚水された地下海水温を異なる日に3回測定した平均値(n=3)は以下のようであり、地下海水の温度は多くの海産魚種の養殖に適したものであった。

| | 計測値 | 単位 | 脇田漁港 | 道越漁港 | 仙崎漁港 | 唐房漁港 | 江ノ島漁港 |
|---|------|----|------|------|------|------|-------|
| 1 | 塩分濃度 | % | 2.6 | 0.1 | 1.2 | 0.7 | 1.9 |
| 2 | PH | | 6.94 | 8.08 | 6.58 | 6.96 | 7.41 |
| 3 | 水温 | ℃ | 18.1 | 19.1 | 17.1 | 17.9 | 15.9 |

また、①脇田漁港(福岡県北九州市若松区安屋)において測定した外気温と揚水された地下海水の温度の経時変化を示したが、一般に明らかにされているように地下海水の温度は年間を通して常に一定の値を示すものであり、本調査結果もこれを再現していた。外気温に左右されずに年間を通じて温度が安定した地下海水は養殖に適した温度環境を提供することが確認された。



4. 地下海水の水質

揚水の水質は、脇田漁港は不良(土壌汚染が疑われる)、道越漁港は清浄(ただし淡水)、仙崎漁港はやや適している(魚種によっては不適か)、唐房漁港はやや適している、江ノ島片瀬漁港はやや不適、と考えられる分析結果であった。

社内で実施した簡易水質検査の結果は次に示す通りであった。

| 検査項目(6 in 1) | | 単位 | 脇田漁港 | 道越漁港 | 仙崎漁港 | 唐房漁港 | 江ノ島漁港 |
|--------------|----------------------|-------|------|------|------|------|-------|
| 1 | NO3- | 硝酸塩 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | NO2- | 亜硝酸塩 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | GH | 総硬度 | | 8 | 0 | 8 | 8 |
| 4 | KH | 炭酸塩硬度 | | 6 | 0 | 0 | 3 |
| 5 | pH(KHが0~3° dH以下で不正確) | pH | | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 6.4 |
| 6 | Cl2 | 塩素 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 |

簡易水質検査 2

| 検査項目(14 in 1) | | | 単位 | 脇田漁港 | 道越漁港 | 仙崎漁港 | 唐房漁港 | 江ノ島漁港 |
|---------------|-------------------|--------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | Residual chlorine | 残留塩素 | mg/L | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 |
| 2 | pH | pH | | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| 3 | Total alkalinity | 総アルカリ度 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 4 | Hardness | 硬度 | mg/L | 50 | 0 | 0 | 0 | 50 |
| 5 | Iron | 鉄 | mg/L | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Copper | 銅 | mg/L | 10 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| 7 | Lead | 鉛 | mg/L | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Nitrate | 硝酸塩 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Nitrite | 亜硝酸塩 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Bromine | 臭素 | mg/L | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | Total chorine | 総塩素 | mg/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Cyanuric acid | シアヌル酸 | mg/L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| 13 | Chromium/Cr | クロム | mg/L | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 14 | Fluoride | フッ化物 | mg/L | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |

また、検査会社に依頼して得られた水質検査の結果は次の通り。

| | | 水質検査項目 | 単位 | 脇田漁港 | 道越漁港 | 仙崎漁港 | 唐房漁港 | 江ノ島漁港 |
|------------|--------------|------------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 健康に関する項目 | 微生物 | 一般細菌 | CFU/ml | 370 | 16 | 1 | 330 | 32000 |
| | | 大腸菌 | — | 不検出 | 不検出 | 不検出 | 不検出 | 不検出 |
| | 金属類 | カドミウム及びその化合物 | mg/L | 0.0003 未満 | 0.0003 未満 | 0.0007 | 0.0003 未満 | 0.0003 未満 |
| | | 水銀及びその化合物 | mg/L | 0.00005 未満 |
| | | セレン及びその化合物 | mg/L | 0.001 未満 |
| | | 鉛及びその化合物 | mg/L | 0.001 未満 | 0.001 未満 | 0.001 未満 | 0.001 未満 | 0.002 |
| | | ヒ素及びその化合物 | mg/L | 0.002 | 0.001 未満 | 0.001 | 0.001 未満 | 0.001 未満 |
| | | 六価クロム及びその化合物 | mg/L | 0.005 未満 |
| | | 亜硝酸態窒素 | mg/L | 0.004 未満 |
| | | シアン化物イオン及び塩化イオン | mg/L | 0.001 未満 |
| | | 硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 | mg/L | 0.02 未満 | 1.33 | 0.02 未満 | 0.05 | 0.02 未満 |
| | フッ素及びその化合物 | mg/L | 0.53 | 0.05 未満 | 0.08 | 0.11 | 0.83 | |
| | 有機物 | ホウ素及びその化合物 | mg/L | 2.0 | 0.1 未満 | 0.1 未満 | 0.2 | 3.1 |
| | | 四塩化炭素 | mg/L | 0.0002 未満 |
| | | 1,4-ジオキサン | mg/L | 0.005 未満 |
| | | シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン | mg/L | 0.001 未満 |
| | | ジクロロメタン | mg/L | 0.001 未満 |
| | | テトラクロロエチレン | mg/L | 0.001 未満 |
| | | トリクロロエチレン | mg/L | 0.001 未満 |
| | | ベンゼン | mg/L | 0.001 未満 |
| 金属類 | | 亜鉛及びその化合物 | mg/L | 0.1 未満 |
| | | アルミニウム及びその化合物 | mg/L | 0.02 | 0.02 未満 | 0.02 未満 | 0.02 未満 | 0.33 |
| | 鉄及びその化合物 | mg/L | 8.45 | 0.03 未満 | 0.14 | 0.03 未満 | 2.18 | |
| | 銅及びその化合物 | mg/L | 0.1 未満 | 0.1 未満 | 0.1 未満 | 0.1 未満 | 0.1 未満 | |
| | ナトリウム及びその化合物 | mg/L | 5220 | 7.1 | 2530 | 1510 | 6320 | |
| | マンガン及びその化合物 | mg/L | 4.68 | 0.005 未満 | 0.378 | 0.011 | 0.856 | |
| | 性状に関する項目 | 無機物 | 塩化物イオン | mg/L | 11200 | 4.2 | 6750 | 3500 |
| Ca、Mg等(硬度) | | | mg/L | 6220 | 43 | 3780 | 2480 | 3360 |
| 蒸発残留物 | | | mg/L | 25600 | 130 | 12100 | 7730 | 21000 |
| 有機物 | | 陰イオン界面活性剤 | mg/L | 0.02 未満 |
| | | ジオキシミン | mg/L | 0.000001 未満 |
| | | 2-メチルインボルネオール | mg/L | 0.000001 未満 |
| | | 非イオン界面活性剤 | mg/L | 0.005 未満 |
| | | フェノール類 | mg/L | 0.0005 未満 |
| | | 有機物(TOC) | mg/L | 1.0 | 0.3 未満 | 0.3 未満 | 0.3 未満 | 3.1 |
| | | 基礎的性状 | pH(測定時水温) | (℃) | 7.0(16.5) | 8.1(14.2) | 6.7(11.8) | 7.2(16.7) |
| 味 | | | — | 測定不可 | 異常でない | 塩味 | 測定不可 | 測定不可 |
| 臭気 | | | — | 金気臭 | 異常でない | 異常でない | 異常でない | 金気臭 |
| 色度 | | | 度 | 48.0 | 0.5 未満 | 1.8 | 0.5 未満 | 18.8 |
| 濁度 | 度 | | 39.5 | 0.1 未満 | 0.6 | 0.1 未満 | 40.5 | |

5. 陸上養殖水槽試験機による幼魚の飼育試験

陸上養殖水槽試験機のベース機を購入して本試験受託企業(マリンバイオ社)の工場にて改造、調整して陸上養殖水槽試験機として完成し、地下海水を使った試験魚の飼育観察に用いることとした。ただし、脇田漁港については地下海水の水質が飼育に適さないものであったことから不適合、道越漁港については完全な淡水が揚水されたことで不適合、唐房漁港については試験ポンプの早期撤去を求められたことから実施中止、江ノ島片瀬漁港については水質が飼育に適さないものであったことから不適合となった。唐房漁港の地下海水は養殖に適した水質であると思われたことから地下海水を持ち帰り、汽水域でも生息可能なメダカを用いた研究室飼育を代替試験として実施した。仙崎漁港については養殖に適した水質であると推測されたことから、シロアマダイ(体長約 10cm の稚魚 31 尾)、シマアジ(体長約 10cm の稚魚 4 尾)、トラフグ(体長約 10cm の稚魚 4 尾)を順次飼育試験に供した。飼育中の溶存酸素は 90~100%に自動調整し、ペレット飼料を隔日に自由摂餌させた。



その結果、シロアマダイは3日後から順次数匹ずつ斃死を重ね、10日後には全尾が斃死した。シマアジについては10日間の間にシロアマダイと同様に順次斃死した。トラフグは10日後にも特別の所見が観察されることもなく無事に生存し、正常な摂餌行動が観察された。

シロアマダイについては、輸送による疲弊、ヒートショック、水質環境の激変の要件が重なったことを考慮すると、斃死の原因は地下海水の水質のみで説明することも妥当とは言えない。極端な環境変化への適応には魚種個別の限界があるため仙崎漁港の地下海水が養殖に不適であると結論することはできないと思われる。稚魚の水質環境を徐々に変えながら(順化しながら)地下海水に慣らせば養殖場は問題ないのかもしれない。養殖に適した地下海水であるのか否かについては、更に調べてみる必要がある。

また、唐房漁港の地下海水については、現地での飼育試験が困難であったことから地下海水を持ち帰り、実験室内において汽水域でも生存可能なメダカを用いて飼育試験を実施した。およそ1ヶ月間の飼育期間において特別な所見を観察することは出来ず、飼育には適した地下海水と思われる。



得られた成果:

今回の調査を総括すると、次の成果が得られたものと考えられる。

今回実施した5箇所の地点において揚水された地下海水のうち、養殖への適応が可能と考えられたのは③仙崎漁港と④唐房漁港の2箇所のものであった。①脇田漁港から揚水された地下海水は、水質検査のデータから推測すると、単に土壌の性質により養殖に不適な水質であったのではなく、おそらくは港湾の埋め立てに用いた土砂に混入した汚染物による影響を受けたものであると推認される。したがって、地下海水の利用に当たっては、可能な限り当該湾岸工事の情報を入手することが必要であろうと考えられる。また、海岸隣接地域においてさえ、必ずしも高い塩分濃度を有する地下海水が揚水されるわけではないため、可能な限り水脈状況を調べてさく井工事を実施する必要があると思われる。さらに、地下海水に含まれるミネラル成分は、当然のことながら地質の影響を受けて地域によって大きく異なることが明らかになったことから、魚種に依存して養殖への適応が左右される可能性が示されたことから、地下海水の養殖への利用に際しては多様な魚種による飼育試験が必要となる可能性

が示唆された。養殖に適した水質を有する地下海水を得るためには、土壌汚染のない場所で、かつ地質が好適であること、また、水深を考慮した揚水を行う必要があることが今回の調査結果から推測された。今後の課題として、できるだけ多くの調査地における試験結果を集積して、陸上養殖に適した地下海水を得られる地域を特定していく作業が必要であると考えられた。

以上、地下海水を用いた陸上養殖適地調査事業報告書を提出申し上げます。

2020年3月15日

マリンバイオテクノロジー株式会社

代表取締役社長 福本 明