

## 平成 30 年度当初予算 IoT サービス創出支援事業 成果報告書

代表団体	国立大学法人 長崎大学
共同実施団体	佐世保工業高等専門学校、五島市、菱計装（株）、システムファイブ（株）、（公財）ながさき地域政策研究所、KDDI（株）
実証事業名	五島・マグロ養殖基地化を実現する IoT システムの実証事業
実証地域	長崎県五島市（玉之浦地区）
対象分野	農林水産業
事業概要	<p>五島市では人口減、高齢化のなか基幹産業である水産業への期待は大きく「マグロ養殖基地化」を目指しているが、赤潮被害が平成 25 年に県下で 1 億 5 千万円におよぶ中、当市でもここ数年赤潮被害が発生し始め地域の課題となっている。クロマグロは通常の魚種に比べ 10 倍程度赤潮の影響を受けやすい魚種のため早期検知が必要であるが、既存のクロフィル計測では精度、時間的観点から対応が困難であり、新技術による対処が必要である。</p> <p>これらの課題を解決するため、ドローンおよび画像解析を活用した、移動型の情報収集システム及びリアルタイムの赤潮判別システムの構築を行う。</p> <p>①赤潮の早期検知、早期対応のため、採水から有害プランクトン量情報が養殖事業者へ伝達される時間を、現状の半日程度から 15 分以内に短縮する。</p> <p>②現在海域パトロール（海域の赤潮発生具合を目視点検するために船により定期的に実施する監視活動）に費やしている時間を年間 360 時間程度から 120 時間程度へ低減する。</p> <p>③検鏡に費やしている時間を年間 100 時間程度から 10 時間程度へ低減する。</p> <p>④自主検鏡可能な養殖事業者を 2 社から 6 社へ増加させる。</p> <p>結果として、今後の赤潮被害の発生を防止、漁業者の所得向上を目標とする。</p>
実施期間	平成 30 年 7 月～平成 31 年 2 月

**1. 事業概要**

五島市では人口減、高齢化のなか基幹産業である水産業への期待は大きく「マグロ養殖基地化」を目指しているが、赤潮被害が平成 25 年に県下で 1 億 5 千万円におよぶ中、当市でもここ数年赤潮被害が発生し始め地域の課題となっている。クロマグロは通常の魚種に比べ赤潮の影響を受けやすい魚種のため早期検知が必要であるが（過去の事例では他の魚種の 1/10 程度の低密度で斃死）、船舶により養殖いけすまで航行して行う既存のクロフィル計測（詳細は 2（4））では精度、時間的観点から対応が困難であり、新技術による対処が必要である。

これらの課題を解決するため、ドローンおよび画像解析を活用した、移動型の情報収集システ

ム及びリアルタイムの赤潮判別システムの構築を行う。

- ①赤潮の早期検知、早期対応のため、採水から有害プランクトン量情報が養殖事業者に伝達される時間を、現状の半日程度から15分以内に短縮する。
  - ②現在海域パトロール（海域の赤潮発生具合を目視点検するために船により定期的を実施する監視活動）に費やしている時間を年間360時間程度から120時間程度へ低減する。
  - ③検鏡に費やしている時間を年間100時間程度から10時間程度へ低減する。
  - ④自主検鏡可能な養殖事業者を2社から6社へ増加させる。
- 結果として、今後の赤潮被害の発生を防止、漁業者の所得向上を目標とする。

## 2. IoT サービスを活用して克服すべき地域課題（問題点）

### (1) 五島市の課題

長崎県五島市は、九州の最西端、長崎県の西方海上約100km、九州の最西端に位置している。

五島市の人口は、昭和30年の91,973人をピークに平成27年国勢調査で37,327人まで減少している。高齢化比率(65歳以上の人口割合)は全国平均26.8%に対し、五島市は36.8%と高齢化が進んでいる。公共事業の縮減による就業者の減少や、基幹産業を担う農林水産業者が減少する中、これらに代わる新たな就労の場が確保できず、日本全体の人口が増加していた時期も、五島市の人口は一貫して減り続け、高等学校卒業生の約9割が島を出ていく状況にある。

その中にあり、五島市は黒潮本流から分岐して北上する対馬暖流と、五島列島付近にできる沿岸流の影響を強く受け、魚類の回遊が多い西日本有数の漁船漁業の好漁場となっていることから、水産業は五島市の主要産業である。

しかし、漁業者数推移は平成5年2,473人から平成25年1,077人と56%減少しており、漁業者の高齢化に伴い、海面漁業の漁獲量・漁獲高は減少している。

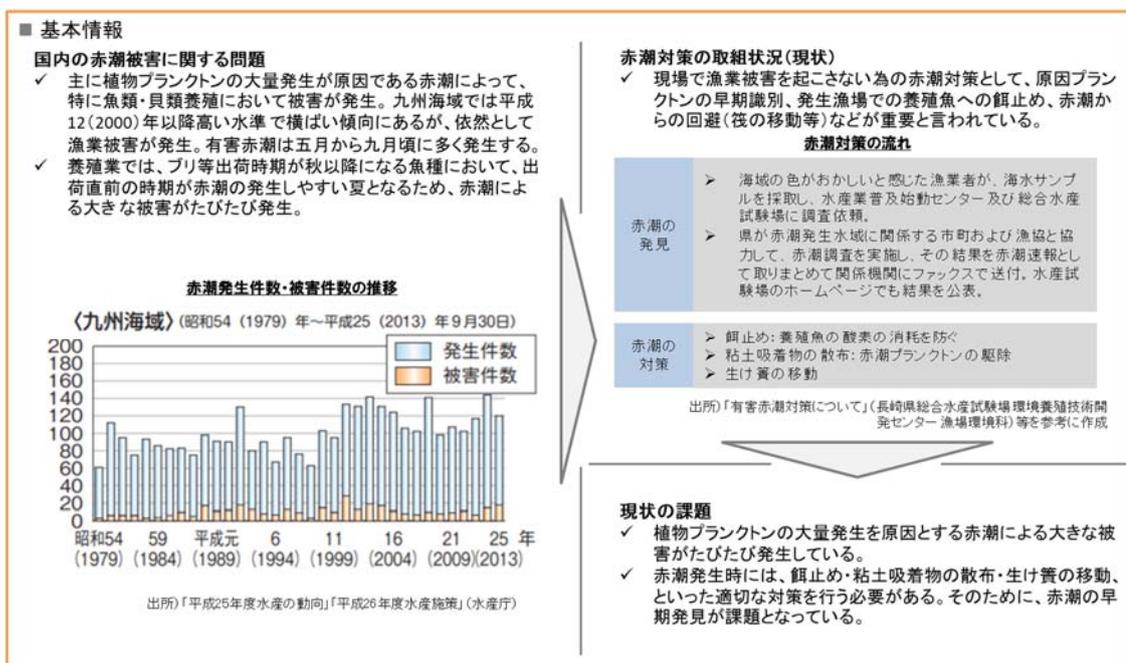
一方、海面養殖業の漁獲量・漁獲高は増加しており、なかでも市は地域資源を活かした4大プロジェクトの一つとして「マグロ養殖基地化」を掲げ養殖事業に注力し、長崎県の平成28年のマグロ養殖生産量は4,414tと全国一位の生産県となった。

今後、五島市を支える基幹産業としての水産業を維持・発展させていくにあたり、マグロ養殖を行っている五島市玉之浦地区の漁業者と意見交換を行ったところ、最優先課題として挙げられ、かつ1事業者での対応が困難であり海域全体での対応が必要とされ強いニーズを提示されたのが「赤潮対策」であった。



事実、長崎県下全域で平成 25 年秋季に有害赤潮によって養殖マグロが大量へい死し、1 億 5 千万円の漁業被害が発生している。五島市玉之浦地区の場合、現在の養殖規模を元に、赤潮が発生して養殖魚が全滅した場合を想定すると、10 億円規模の損害額が予想される。同じ長崎県の松浦地区（伊万里湾）では平成 29 年に赤潮により 5 億円超の被害額を記録した。松浦地区においては各事業者の赤潮対策への取り組み具合により事業者ごとに被害額が違ったとの情報もあり、事業者間の情報共有を促進して地域全体としての対策をとっておくことで赤潮被害額は大幅に減額できたことが推察される。赤潮被害額の低減は、養殖事業者の所得向上に直結する。

このように、五島市にとり赤潮対策は喫緊の課題であり、基幹産業である養殖業を守るため漁業被害対策を魚類養殖振興の重要課題として捉え、被害を未然に防止・軽減するための取組を早急に進めていく必要がある。



## (2)赤潮について

赤潮とは、主に夏場に植物性のプランクトンの異常発生によっておこる現象であり、ひとたび発生すると魚のえらを傷つけ酸欠状態をもたらす。その結果魚が死滅し、養殖事業者に大きな影響を与える。伊万里湾では平成 29 年夏に赤潮により 5 億円超の被害が発生した。

具体的な対策は、赤潮発生の早期検知によるタイムリーな餌止め、粘土散布、いけすの移動などである。そのためには行政及び事業者同士が情報を共有して地域全体として早期検知に取り組むことが重要である。赤潮は海域に広く発生する現象であり個別事業者レベルではなく、海域全体で取り組むべき地域の課題であると言える。

## (3)実証地域

五島市玉之浦地区

現在、6 事業者がマグロ、タイ、ブリ等の養殖を行っている。

今回、実証地として玉之浦地区を選定した理由は以下のとおりである。

- ・過去にはなかった赤潮が近年発生し始めており、地域として対策を講じる必要に迫られている。
- ・長崎県五島振興局を中心とし、事業者による監視のための連絡体制が形成されつつあり、同地区を管轄する五島漁業協同組合からもすでに本実証事業について理解が得られ

- ている。
- ・ 入り組んだ地形で陸から養殖場までの距離が近接しており、地形的にドローンを活用しやすい。

#### (4)実証前の赤潮対策

実証前の時点では、赤潮検知のために、以下のような取り組みを行っている。

##### 1.船による海域全体の定期パトロール。

玉之浦地区の漁業者1～2人体制で、年間を通じて2日に1回程度、各1～2時間、目視で赤潮の発生状況についてパトロールを実施している。

##### 2.クロロフィル量の定点観測（行政）

固定のクロロフィルセンサー（テレメーター）による計測を実施している。また、必要に応じて船を出し、定点でクロロフィル量の計測を人力で実施している。

##### 3.検鏡

クロロフィル量が高くなり、赤潮発生の危険度が高くなってきたと判断される場合、採水した水を顕微鏡を通じて見る「検鏡」を行い、水中の悪玉プランクトンの量をカウントする。一般に、1ccあたり1000細胞を超えると海面の着色をもたらし、魚を死滅させるレベルとなる。しかし、玉之浦地区で養殖されているマグロの場合、1ccあたり100細胞でも死滅させるレベルとなるが、この状態は海面着色の視認では判別できない。

検鏡の実施状況は以下のとおりである。

- (ア)大手事業者（2事業者）は1日1～3回程度、簡易的な自主検鏡を行っている。
- (イ)別途、地域の事業者（全6事業者）が午前中に採水したものを県振興局が正午ごろに現地回収し、振興局事務所（片道50分程度）へ持ち帰り、人力で検鏡を行う。

##### 4.事業者への情報配信

県で検鏡した結果は、スマートフォン、フィーチャーフォン、FAXを通じ、全事業者へ配信し注意喚起を促す。

実際に赤潮が検出された場合、漁業者は①投薬による有害プランクトン駆除②餌止め③生簀の移動を行う。いずれも赤潮発生から早ければ早いほどに被害を抑えることができるため、赤潮の早期検出が重要となっている。

#### (5)現状の課題

##### 1. 現状の赤潮対策の不十分さ（クロマグロにはクロロフィル計測では不十分）

赤潮対策としては、現状、クロロフィル量の計測をもって赤潮の予察を行うことが一般的である。クロロフィル量とはプランクトンの色素量であり、プランクトンが有害か否かの情報を含んでいないもので、あくまでクロロフィル量は赤潮プランクトン量との相関関係を推測する意図で使用されている。しかし、クロマグロは通常の魚類に対し、有害プランクトンに対する脆弱性が他の魚種に比べて10倍程度高い。すなわち、通常、1000細胞/cc以上が赤潮として通常の魚類を死滅させるとしたときに、クロマグロの場合、その10分の1である100細胞/ccでも健康の害を生じるとされる。現状のクロロフィル計測ではクロマグロについての赤潮対策としては早期発見の観点からは不十分であり、今回、採水および画像解析により赤潮プランクトン量を直接計測することにより、クロマグロの赤潮対策を実施した。

前述の通り長崎県は県下でクロマグロの養殖を進めており、養殖量は日本一であるため、五島市でクロマグロ向けの赤潮対策システムを完成させることで県下全域へ横展開をするとともに、クロマグロより赤潮耐性のある魚種へも適用が可能となる。

##### 2. 事業者ごとに対応、情報の格差

玉之浦地区の6事業者のうち、大手2業者は自主検鏡を行い、対策ができていますが、その他4事業者はその余力がなく、事業者によって対策の差が生じ、その結果、事業者

ごとの情報格差につながっている。県振興局が情報共有への取り組みを始めているが、後述の通り情報共有のリアルタイム性、情報伝達手法等について更なる工夫が必要な状況にある。

### 3. 情報の視認性、わかりづらさ

プランクトン量の測定は定点観測であるため海域全体の状態がわかりにくい。また、情報は計測・採水地点における赤潮プランクトンの量を数値で通知している。そのため、養殖事業者からは数値データ情報では赤潮の分布状況が見えづらいとの指摘があり、受信者が自社いけすに対するリスクを瞬時に判別できず、危険度を実際より低く見積もることが起こりうる。

### 4. 赤潮の発生・拡大の推移が把握できていないこと

赤潮がその区画で発生したものか、外から流入してきたものかがわかっておらず、対策が立てづらい。

### 5. 採水から通知までのタイムラグ

採水から悪玉プランクトン情報の通知まで半日程度のタイムラグが発生する（採水に1時間、採水後の回収待ちで3時間、検鏡可能施設に持ち帰る移動時間として30分、検鏡にかかる時間を1時間および通知に30分とする）。そのため、前日昼時点での情報をもとに朝の給餌を行うことになる。

### 6. 赤潮長期化時の対応

また、赤潮が長期化する場合、飢餓状態による死滅を避けるため、赤潮の影響が少ない時間帯があればタイミングを見計らって給餌をできることが好ましい。しかし、前述の通り現状リアルタイムでの赤潮プランクトンの量がわからないため給餌が難しい。

### 7. 検鏡に費やす時間および判断の個人差

検鏡にかかる時間（顕微鏡をのぞいて赤潮プランクトンの個体数をカウントする時間）は推定100時間程度/年で養殖事業者および行政担当者の業務負担となっている。また、プランクトンの識別は検鏡者の経験に基づくため、個人差が生じることが現状である。

上記に挙げた7つの課題を次の3つの地域課題としてまとめる。

#### ① 検知タイムラグ (2,5,6)

従来の方法では、採水～赤潮発生検知まで半日程度の時間を要するため、リアルタイムの対策ができず、赤潮被害は甚大なものとなっている。

#### ② 赤潮対策の労力 (4)

赤潮を発見するための自主パトロールは年間360時間を費やしている。

#### ③ 検鏡の労働時間 (1,2,3,7)

検鏡は現状人力で行っており、年間100時間程度を費やしている。

## (6) 定量的なデータ

### ① 赤潮被害の額

#### ○九州全域

水産庁「平成27年 九州の赤潮」によると、九州全域で平成19年から28年にかけての赤潮被害額は下記のとおりで、この10年間の平均被害額は約10億円となる。

平成19年	33,530千円
平成20年	186,506千円
平成21年	3,332,171千円
平成22年	5,463,638千円
平成23年	14,190千円
平成24年	391,895千円
平成25年	187,647千円（うち玉之浦地区 24,300千円）
平成26年	138,627千円
平成27年	242,267千円（うち玉之浦地区 20,000千円）

平成 28 年 425,511 千円

-----  
平均 1,041,598 千円

### ○玉之浦地区

今回実証事業を行う玉之浦地区では、平成 25 年、平成 27 年に各 2,000 万円以上の被害が発生しており、平成 28 年、平成 29 年にも初期段階の赤潮が発生し、今後も対策が必要である。

玉之浦地区の養殖規模から推計すると、赤潮が湾内全域に発生し養殖魚が全滅したと仮定した場合、10 億円程度の被害額が想定される。なお、前述の通り平成 28 年夏には伊万里湾で 5 億円の赤潮被害が発生している。

### ②赤潮対策にかかる人員

赤潮対策として、行政、養殖事業者が検鏡および自主監視に現状費やしている時間数を推計したところ下記の通りとなった。

検鏡 100 時間／年 (行政、養殖事業者)

自主監視 (漁協による船でのパトロール) 360 時間／年 (1 人×180 日×2 時間で試算)

日常の業務の中でこれらも負担となっており、軽減が望まれる。

## 3. 地域課題の解決に資する IoT サービス

前項の課題を解決するため、ドローンおよび画像解析を活用した、移動型の情報収集システム及び赤潮のリアルタイム判別システムを構築した。



### (1)サービス内容

#### 1. ドローンによる定期パトロールの実施 (船による自主監視の代替)

ドローンを当該海域に飛行させ、空中から海域の着色具合をパトロールすることにより、発生個所を特定するとともに、風向等を加味し、面として赤潮の水平移動を把握する。

すでに長崎大学が開発済みの小型ドローンは採水まで行える性能を保有し、カメラを搭載することも可能である。ただし、実証前の航続距離は 2km 程度で、玉之浦地区全域のパトロールを実施するには航続距離が不足するため、本実証事業でドローンを大型化し、全域のパトロールが実施できる機能を装備するとともに、遠距離通信、遠距離操作についても可能性の実証を行った。

## 2. ドローンによる採水および赤潮プランクトンの識別

定点および任意の点（空中から撮影した際に着色等の理由により赤潮の発生が疑われる地点）の採水、画像転送、クラウド上での画像解析（推論エンジンによる）を行った。採水は、視認が困難でかつ影響の大きい海面下 1m、3m、5m の海水に対して実施。現状開発済みの小型機においては、1 か所の表層水を採水する技術までは確立されている。今後、実際の運用に耐えるために、1 回の飛行で採水できる回数の増加を検討するとともに、採水した水をドローン上で画像として認識しクラウドに転送する技術、有害プランクトンのたまりやすい深度 5m 以深の層の採水等の技術を確立し、より正確な情報収集ができるシステムを開発する。

## 3. 養殖事業者を理解しやすいユーザーインターフェースによるリアルタイム通知

海域全体の状況を養殖事業者が視覚的に理解できるユーザーインターフェースの運用（例：赤潮を等高線のように表示）を行うとともに、検鏡結果をリアルタイムで通知する仕組みを構築する。通知に際しては、ウェブアプリケーション上で情報を提供し、情報の更新が行われた旨、関係者に対しメールにてプッシュ通知を行う。現段階では、長崎県五島振興局を中心とし、メール、FAX 等で数量データ（地点、クロロフィル量、プランクトン量など）を通知する仕組みとなっているが、受信者（養殖事業者）がより視覚的、直感的に赤潮分布を理解できるよう、分布状況を図で提示する仕組みを構築する。

今年度の事業で上記を実施し、事業年度以降に AI（ディープラーニング）を活用した「赤潮予報」を実施するため、今年度事業ではその準備としてデータ収集・蓄積の仕組みづくりを行う。

## (2)サービスの新規性

### 1. 採水による赤潮プランクトンの判別による直接的、瞬間的な赤潮検知であること

現状多く取られている手法は、クロロフィル量の計測をもって赤潮の発生を予測するものである。しかし、クロロフィル量はプランクトンの色素量であり、善玉プランクトンか悪玉（赤潮）プランクトンかの区別に関する情報が得られない、いわば間接的な検知方法である。クロマグロは赤潮プランクトンに対する脆弱性・感受性が通常の魚種より高く、クロロフィル量を基にした間接的検知では手遅れになる可能性が高く、早期発見のためには採水および赤潮プランクトン量の直接的な検知が必要となる。本画像解析システム（ディープラーニングを活用した AI 技術）は、この条件を満たし、これまでの人手を介していたことにより生じるタイムラグおよび検査者の手間を大きく省くことが可能となる。

### 2. ドローン活用による多地点および 5m 層の採水技術

ドローンを用いずに固定地点にカメラを設置、画像解析を行うことにより赤潮プランクトンの識別を行うシステムも検討しうるが、固定式の機器はメンテナンスに手間がかかること（1 カ月～2 週間に 1 回、設置個所に出向き水から引き上げて人力で掃除する必要がある）、顕微鏡のように高額な機器を多地点に配置するには費用が掛かること（1 台数十万円）、固定点しか計測できない等の制約がある。また、採水については人力で行わざるを得ず、その都度船を借り、沖に出る時間、採水に係る時間等、労力が大きい。ドローンを活用することにより、メンテナンス労力の低減（毎回陸上に戻ってくるため

メンテナンスが容易)、同一の顕微鏡の多地点兼用(1つの顕微鏡をドローンが積んで計測して回る)、状況に応じた計測地点の変更による多面的なデータ収集の可能性向上、ドローンによる空撮画像と海水色見標本の比較による赤潮発生の疑いのある場所の特定、採水の自動化等のメリットが得られ、採水・海洋データ取得に移動式であるドローンを活用する点で、最先端の取り組みである。

### (3)実施スケジュール

<平成30年度前半>平成30年7月~8月

長崎大学で開発済みの採水ドローン「AKABOT(アカボット)」(航行距離2km)を活用する。陸上から飛ばし(必要に応じて船から)、玉之浦の北部地域のパトロール、採水、画像解析の実証を行う。パトロールに際しての1回あたりの飛行時間は20分程度とし、合計6回程度の飛行で玉之浦湾北部地域をカバーすることを想定しており、その実現可能性について検証を行う。



<平成30年度後半>平成30年9月~平成31年2月

AKABOT 新型機(大型化および採水機能の強化)を投入し、下記について実証事業を行う。

- ・大型化により、玉之浦湾の南部地域を含めた広域のパトロール実証を実施。
- ・採水機能の強化により、1回の飛行での多地点での採水に向けた実証。
- ・ユーザーインターフェースを整備し、海域全体の状況を養殖事業者が視覚的に理解できるシステムの開発実証。
- ・将来に向けたデータベースを官民クラウド上に構築。

<将来構想>

データの蓄積、AI(ディープラーニング)に学習をさせ、赤潮予報システムの構築を目指す。(赤潮予報システムは事業年度以降の目標であり、本年度事業においてはデータの収集・蓄積の仕組みづくりを行う)

## 4. 実証項目ごとの詳細

### 4.1 海水サンプリング画像収集ロボットシステム

#### 4.1.1 要件定義の詳細

海水サンプリング画像収集ロボットシステムでは、赤潮発生危険度の判定のための海面画像の撮影および海水サンプリングのために、以下の機能を必要とする。要件を満たすシステムの概要を図に示す。

- (1) 空撮用ドローンにより上空から海面を撮影し、海面色を確認することで赤潮発生の予兆の巡視や検知を行う。また、ドローンが撮影した画像をサーバーにアップロードする。ユーザーは海面画像を海面色見標本と比較することで、赤潮発生の可能性

を推定することが可能となる。

- (2) 採水用ドローンは速度 10m/s 程度、20 分以上の連続航行時間を可能とし、採水装置のため 5 kg 以上のペイロードを有する。
- (3) 採水用ドローンに搭載する採水装置は、採水深さを 1・3・5m のいずれかに設定可能な 3 つの採水カップを有し、採水ドローン操縦用のプロポからリールの送り出し、巻き戻しによって採水装置を海中に投下する。

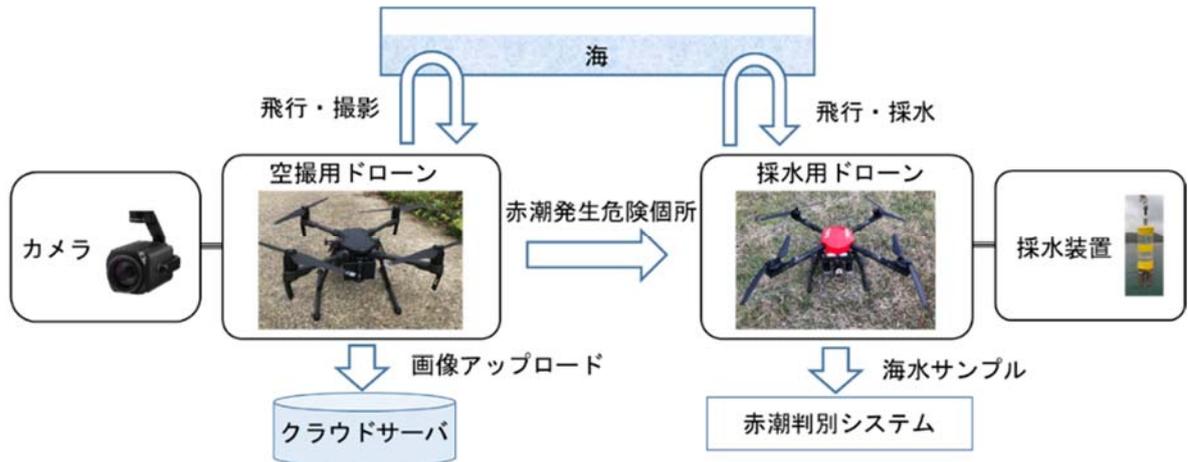


図 4.1.1 海水サンプリング画像収集ロボットシステムの概要

#### 4.1.2 空撮用ドローンの詳細

空撮用ドローンの詳細を示す。空撮用ドローンは DJI 社の Matrice200 を採用する。空撮用ドローンは、現在漁業関係者が行っている生簀周辺海域のパトロールを、上空から広範囲をモニタリング可能なドローンを用いることによって、効率的に短時間に代替することを目的とする。空撮ドローンから送られる海面の映像を操縦者が確認し、色見標本と比較して赤潮発生の疑いが見られた場合、静止画像を撮影する。また、本画像はドローン操縦用のタブレットからクラウド上へアップロードされる。

空撮用に用いるドローンは、潮風にさらされる環境下で用いるため、強風下、低温時でも飛行が可能であり、風力発電タービンや橋梁等のモニタリングにも利用される実績がある Matrice200 を採用した。Matrice200 のスペックを表に示す。



図 4.1.2 空撮用ドローン Matrice200

表 4.1.1 Matrice200 スペック

サイズ (アーム展開時)	887×880×378 mm
重量	約 3.80 kg
最大ペイロード	約 2.34 kg
最大飛行速度	82.8 km/s (Sモード)
最大飛行時間	27分(ペイロード無し)、13分(最大ペイロード)
IP 等級	IP43
最大風圧抵抗	12 m/s

海面撮影用カメラに ZENMUSE Z30 を搭載する。本カメラはデジタルズーム機能を有しており、高高度からでも海面の詳細な画像を取得可能である。

表 4.1.2 Zenmuse Z30 スペック

寸法	152×137×61 mm
重量	549 g
センサー	CMOS、1/2.8" 有効画素数: 213 万画素
レンズ	光学 30 倍ズーム F1.6 (広角)~F4.7 (望遠)
視野角	63.7° (広角)~2.3° (望遠)
デジタルズーム	6 倍

#### 4.1.3 採水用ドローンの詳細

採水用ドローンは、長崎大学が開発した海水サンプリングドローン Akabot をベースとして、ワンフライトで 3 地点または 3 深度 (1, 3, 5m) からの採水を可能とした、Akabot II を用いる。Akabot II は大型な採水機構を搭載する必要があり、飛行時間としても 20 分以上を確保するために、大型大容量のバッテリー (6 セル 21000mAh) を 2 本使用し、ロータサイズも 28 インチと、市販のドローンと比較しても大型なものとなっている。Akabot II の操縦はタブレット上の DJI アプリで、ライトブリッジ II による通信機能を使用するプロポを通じて行う。



図 4.1.3 採水用ドローン Akabot II

表 4.1.1 Akabot II スペック

サイズ (アーム展開時)	1200 mm
重量	約 19 kg (本体重量約 14.4 kg)
最大ペイロード	約 10 kg
運用飛行速度	10 m/s
最大飛行時間	26 分
搭載カメラ	操縦用カメラ (Zenmuse X3)、採水用サブカメラ

Akabot II に搭載される採水装置は、採水容量 150ml の採水カップを 3 つ搭載する。それぞれの採水カップは最大 20m まで巻き出し可能なケーブルに接続されている。ケーブルの巻き出し・巻き戻しは採水機構のモータで行っており、操縦者のプロポからの指令により、3 つの採水カップがそれぞれ投下される。従来の採水装置は、採水カップの底部にカメラと LED を搭載しており、操縦者が映像を見ながら採水装置を降下することで採水カップが着水したことを確認可能な仕様となっていた。この場合、カメラ映像を信号ケーブルを通じてドローン本体まで送る必要があり、ワイヤの肥大化、スリッピングによる重量増となっていた。新型採水機構では軽量化のため、採水カップにはカメラを搭載せずに、ドローンから操縦用カメラで採水カップを確認しながら降下させるようになっている。さらに、着水したことが確認できるように浮きを付けている。また、従来の採水カップは表層のみの採水を目的としていたが、Akabot II に搭載する採水カップは圧力によって弁が開く機構が付いており、バネ調整により弁の開く圧力を変更可能なため、採水深さを変更可能となっている。現状、1m、3m、5m から採水深さが選択可能な仕様となっている。



図 4.1.4 採水機構

#### 4.1.4 ドローン発着基地の選定

本実証におけるドローン発着基地として、玉之浦地区の河原浦および銭亀崎を候補地とした。いずれの候補地も、五島列島の福江島南西部、玉之浦湾内に位置する。玉之浦湾では養殖漁業が盛んであり、2つの候補地周辺にはクロマグロの養殖基地が点在している。

候補地の選定では、海に面していること、本実証で用いるドローンの離発着可能なスペースを有すること、周囲にマグロ養殖基地があること、周囲の養殖事業者の許可が得られることを条件とした。そこで、五島市水産課、五島漁業協同組合玉之浦支所へこれら条件を満たした場所について聞き取り調査を行い、候補地として決定した。河原浦、銭亀崎の位置を下図に示す。



図 4.1.5 ドローン発着場所

河原浦は五島市水産課の調査員らが使用する検鏡施設があり、海水サンプリングが行われる海域からも近い。しかし、ドローン発着場所のすぐ横を国道が通っていること、ドローン発着場所としてはスペースが狭く、両側を山に囲まれているため目視内でドローンの飛行が可能な海域が狭いという問題がある。一方で銭亀崎は、国道や住宅地から離れており、機材を運搬する車を駐車する場所も含めて十分な広さがあり、また目の前が広く開けている。8月、9月の環境調査・実証試験の中で検討を行い、銭亀崎を実証期間中のドローン発着基地として利用することと決定した。



図 4.1.6 河原浦



図 4.1.7 銭亀崎

#### 4.1.5 実証試験

本事業において、空撮用ドローンによる海面画像の収集、採水用ドローンによる海水サンプリングの有効性検証のために、上記の河原浦と銭亀崎において実証試験を行った。主な実証試験として、9月21日、10月9日、1月22日に行った実証試験について以下に示す。

- 第1回実証試験

日時：9月21日

実証場所：銭亀崎

試験内容：Akabot1を用いた新型採水機構試験、空撮用ドローンによる空撮試験

試験概要：初めに、Akabot IIに搭載する新型採水装置の試験を行った。実際に採水カップをAkabot Iから降下したところ、ドローンのカメラ映像から浮きにより採水カップが着水したことを確認可能であった。また、ドローンの高度調整により採水カップを約5mまで沈下させた。採水カップを回収後、ドローンを帰還させて採水カップ内の海水を確認したところ、およそ40mlの海水が入っていた。さらにドローンのフライトログ、採水装置投下時に撮影した海面画像のExif情報を用いて、採水地点の取得に成功した。

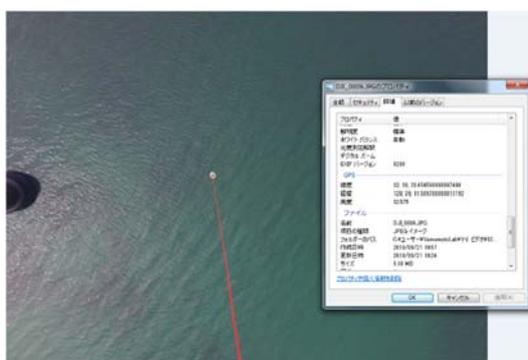


図 4.1.8 採水カップ降下時の様子

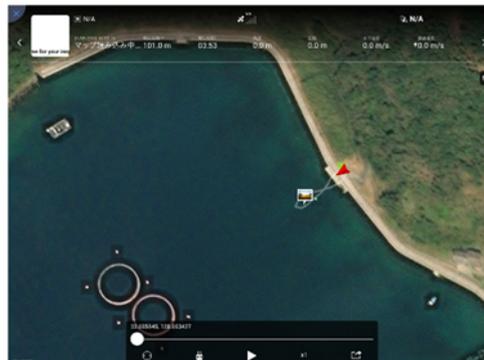


図 4.1.9 フライトログ

空撮用ドローンによる空撮試験では、銭亀崎周辺海域の撮影を行い、実証試験後に行われた定例会の中で五島市水産課、玉之浦地区漁業関係者に映像を確認してもらった。

- 第2回実証試験

日時：10月9日

実証場所：銭亀崎

試験内容：Akabot1を用いた採水試験、空撮用ドローンによる空撮試験、判別システムとの連携確認

試験概要：本実証試験では、1回目の試験と同様にAkabot Iを用いた採水試験及び空撮

用ドローンによる海面画像の撮影を行うとともに、判別システムへ採水したボトルを受け渡すまでの連携についても確認した。

- 第3回実証試験

日時：1月22日

実証場所：銭亀崎

試験内容：Akabot IIによる採水試験、空撮、採水、判別、通知までの一連の流れの実証

試験概要：本事業の中で開発された3つの採水カップを搭載したAkabot IIを用いた採水試験を行った。初めに空撮用ドローンMatrice200を銭亀崎から離陸させ、周辺海域の空撮を行った。事前にシミュレーションした飛行経路を飛行し、仮想の赤潮の発生が確認された3地点にて海面画像を撮影した。撮影した画像は期間後に、操縦用のタブレットから本事業で開発されたアプリによってクラウド上にアップロードした。次に、Matrice200のフライトログを確認し、その軌道に沿ってAkabot IIを飛行させた。画像を撮影した3地点において採水を行った。Akabot IIによる採水は、風が吹く中でも採水した海水がカップから零れることもなく問題なく行われた。帰還後、採水した海水を赤潮判別システム班へと渡した。海水の採水に要した時間は、ドローンの離陸から着陸までとすると3地点で約6分30秒であった。単純に1地点当たりで計算した場合は2分10秒程度と、当初の目標であった5分以内で可能であることが示された。



図 4.1.10 Akabot IIによる採水の様子



図 4.1.11 採水カップの回収

#### 4.1.6 ドローン講習

実証試験における操縦者のため、また、将来的な運用を考慮した五島市関係者のためのドローン講習を実施した。受講者は長崎大学山本研究室のドローン操縦経験のある学生3名と、五島市地域振興部の職員1名とした。ドローン講習は、Matrice200およびAkabot IIの代理店である安達株式会社により行われた。ドローン講習では、初めに国土交通省の『無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール』を理解するための座学を行い、その後本実証で用いるMatrice200およびAkabot IIを用いた飛行操縦訓練を行った。

現状、養殖事業者が午前中に採水したものを玉之浦地区で昼頃に五島振興局職員が回収し、支所に持ち帰って検鏡を行っている。仮に 10 時に採水されたものが 12 時に回収され、支所で 14 時から検鏡を開始した場合、事業者へは 16 時ごろに通知されることとなり、その場合採水から通知まで 6 時間程度かかることとなる。また、通常は、給餌を朝方に行うため、午前 6 時に給餌を行う場合、前日 10 時時点での情報を元に給餌を行うこととなり、20 時間のタイムラグが発生することもある。

ドローンを用いた採水では、ドローンの離陸から帰還まで一地点あたり 5 分以内で完了し、検鏡設備はドローン発着基地の側にあるため移動には 1 分程度、画像解析による検鏡では 1 サンプルあたり 4 分程度で有害プランクトン量を検出できることにより、これらのタイムラグを 15 分以内に短縮することが可能となる。

## 4. 2 赤潮判別システム

### 4.2.1 要件定義とシステム概要

赤潮判別システムでは、海水中のプランクトンの種類ごとの個体数によって有害赤潮を判別するため、以下の機能要件が必要である。要件を満たすシステム構成を図 4.2.1 に示し、ソフトウェア構成図を図 4.2.2 に示す。ハードウェア仕様を表 4.2.1 に示す。

- (1) ドローンで採水した海水サンプルを顕微鏡で観察した画像を PC に取り込む。(図 4.2.1 の①～③)
- (2) 画像中のプランクトンの種類を判別し、プランクトンの種類ごとの個体数を計数し、個体数を基準値と比較して有害赤潮を判別する。(図 4.2.1 の④)対象とする有害赤潮プランクトンは表 4.2.2 に示す 5 種類である。
- (3) プランクトン種類ごとの計数結果および有害赤潮判別結果をクラウドサーバ(長崎県官民協働クラウドおよび NICT テストベッド)に保存する。(図 4.2.1 の⑤)

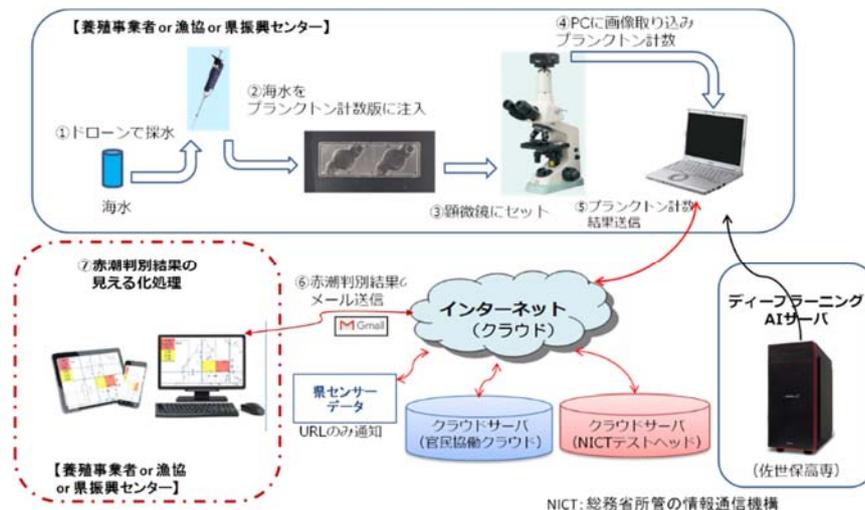


図 4.2.1 要件定義の概要

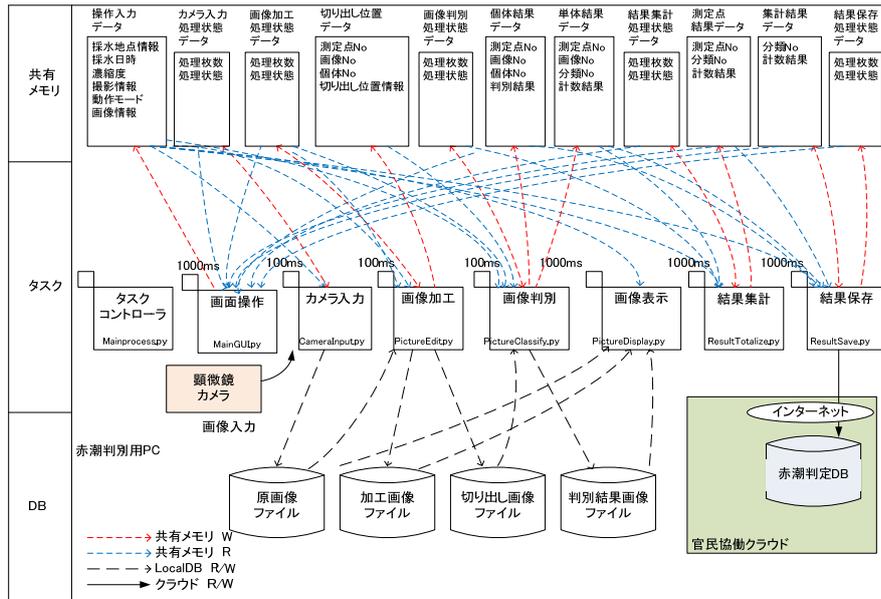


図 4.2.2 赤潮判別システムのタスク構成

表 4.2.1 ハードウェア仕様

No	対象	環境
1	ディープラーニング学習 PC	ILeDxi-R037-Ai7K_-XNSAB-XV OS : Windows 10 Home 64 ビット CPU : インテル(R) Core i7-8700K プロセッサー (3.7-4.7GHz/6 コア/12 スレッド) メモリ : DDR4-2666 16GB×4(デュアルチャンネル/計 64GB) GPU : NVIDIA(R) GeForce GTX 1080 Ti 11GB GDDR5X
2	プランクトン判別実行 PC	Let's note CF-SV7MDTQR OS : Windows 10 Pro 64 ビット CPU : インテル(R) Core i7-8550U (1.80GHz/4 コア/8 スレッド) メモリ : 8GB LPDDR3 SDRAM

表 4.2.2 対象有害赤潮プランクトン

赤潮プランクトン	略称	基準値(細胞/mL)	
		警戒	注意
シャットネラアンティーカ	Ca	1	0.1
ココロディニウム属笠沙型	Ck	50	5
シャットネラマリーナ	Cm	1	0.1
ヘテロシグマアカシオ	Ha	1000	100
カレニアミキモイ	Km	50	10

※ 表中の「警戒」および「注意」は、以下の状態を示す。

警戒：餌止めの励行、生簀移動

注意：プランクトンの動向に注意し、餌止めあるいは生簀移動の実行および準備

#### 4.2.2 採水した海水の画像入力法

ドローンにて採水した海水には、不純物が含まれているため、フィルタ(300 $\mu$ mメッシュ)に通してろ過し、対象プランクトン(最大130 $\mu$ m程度)より大きい不純物を除去する。不純物を除去した海水の画像を顕微鏡を通してPCに取り込む。図4.2.3に採水した海水の画像入力の流れを示す。

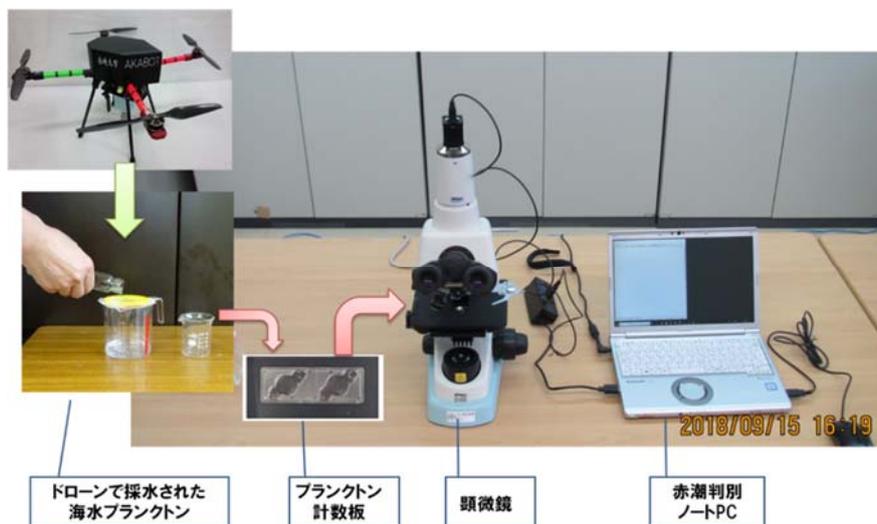


図4.2.3 画像取り込み

### 4.2.3 判別用画像フィルタリング処理

PCに取り込んだ画像にはプランクトン以外の物体などが含まれるため、プランクトンの個体のみを切り出すフィルタリング処理をする必要がある。フィルタリング処理内容を図4.2.4に示す。

- ①顕微鏡に取り込んだ原画像を読み込み、個体部分と背景部分を白黒に塗り分けた2値化画像を作成する。
- ②2値化画像によって画像中の個体部分の座標を取得する。
- ③原画像から個体部分を切り出してプランクトン判別の入力とするための切り出し画像として保存する。

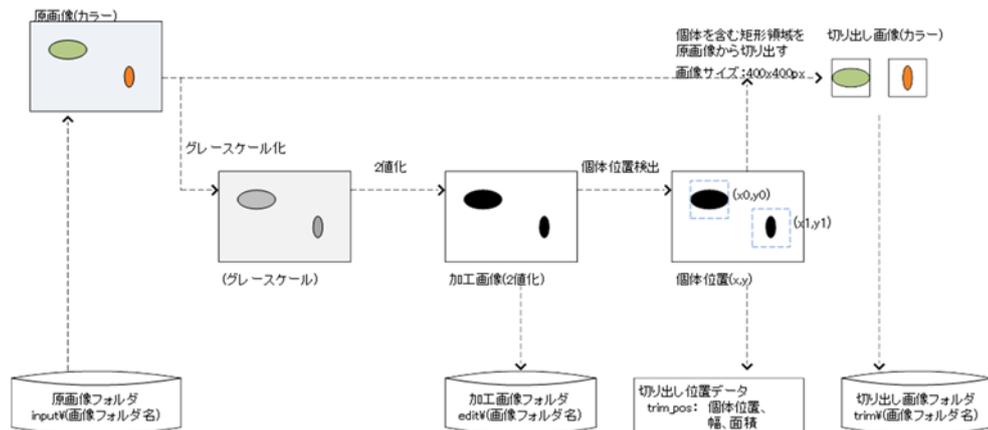


図 4.2.4 判別用画像フィルタリング処理

#### 4.2.4 ディープラーニングによる画像判別

プランクトンの個体ごとの切り出し画像を読み込んでプランクトンの種類の判別を行う。プランクトンの判別のためには前もって学習処理が必要になる。以下に学習および判別について示す。

##### (1) ニューラルネットワーク構成

プランクトンの判別には畳み込みニューラルネットワーク CNN(Convolutional Neural Network)のモデルを使用した。CNNの構成を図4.2.5に示す。

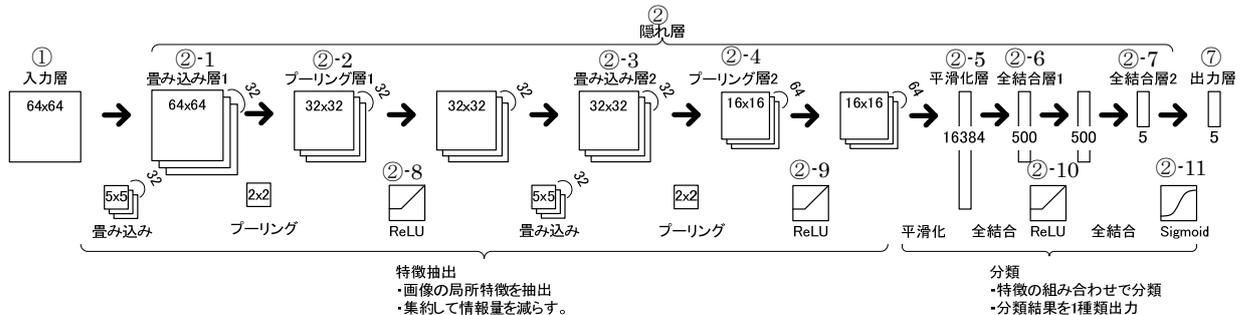


図 4.2.5 畳み込みニューラルネットワークモデル

CNNでは画像データを入力、プランクトンの種類の分類を出力として、入出力の関係を各層の接続の重みによって学習する。CNNの前半部は特徴抽出を行い、後半部は分類を行っている。図4.2.5に示したCNNの各層の役割の概略を以下に記載する。

- ①入力層： 入力となる 64 ピクセル×64 ピクセルのカラー画像データ
- ②隠れ層： 入力層と出力層の間の層を隠れ層と呼ぶ。③～⑥は隠れ層に含まれる。
  - ②-1, 3 畳み込み層： 畳み込みフィルタを適用して特徴を抽出する
  - ②-2, 4 プーリング層： 畳み込み層の中で代表点として局所的な最大値を取り出し、情報量を減らす
  - ②-5 平滑化層： 特徴量の 2 次元データを 1 次元に平滑化して並べる
  - ②-6, 7 全結合層： 全ての特徴を組み合わせた特徴を求める
  - ②-8, 9, 10 ReLU： 活性化関数として ReLU(RecRectified Linear Unit)関数を使用する。図4.2.6に ReLU の式と関数グラフを示す。
  - ②-11 Sigmoid： 出力層の活性化関数として分類対象の 5 種類のプランクトンの画像を適切に判別する上で特徴的な関数である Sigmoid 関数を使用し、判別確度を向上した。図4.2.6に Sigmoid の式と関数グラフを示す。
- ③出力層： 5つのプランクトンの分類確度を出力する

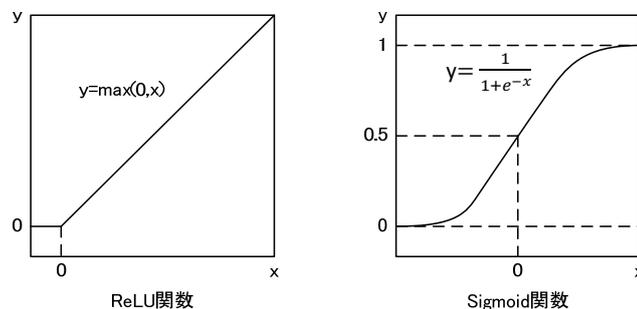


図 4.2.6 ReLU 関数および Sigmoid 関数

## (2) 学習

プランクトンの種類を分類するために、図 4.2.7 に示す画像を CNN の学習データとして使用した。なお、CNN 学習では、画像データを 3つの役割に分けて使用する。訓練画像は学習(パラメータ自動調整)に用いる画像データ、検証画像は学習の経過の評価に用いる画像データ、テスト画像は学習完了後の評価に用いる画像データである。

赤潮プランクトン	略称	画像サンプル	画像枚数
シャットネラアンティカ	Ca		訓練画像:13600枚 検証画像:3200枚 テスト画像:1600枚
ココロディニウム属笠沙型	Ck		訓練画像:13600枚 検証画像:3200枚 テスト画像:1600枚
シャットネラマリーナ	Cm		訓練画像:13600枚 検証画像:3200枚 テスト画像:1600枚
ヘテロシグマアカシオ	Ha		訓練画像:13600枚 検証画像:3200枚 テスト画像:1600枚
カレニアミキモトイ	Km		訓練画像:13600枚 検証画像:3200枚 テスト画像:1600枚

図 4.2.7 学習用画像

## (3) 判別

プランクトン判別 CNN は、学習結果を用いて切り出し画像内のプランクトン種類を判別する。画像判別処理を図 4.2.8 に示す。プランクトン判別 CNN の判別結果は各プランクトン種類の確度(0.0~1.0)が出力される。確度が 0.7 以上の場合は判別結果を採用し、0.7 未満の場合はその他として判別する。

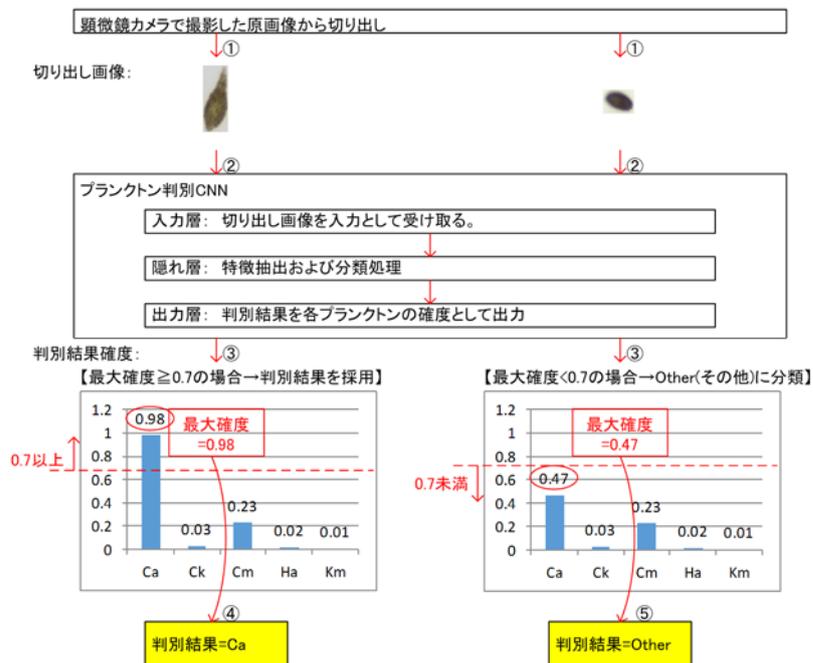


図 4.2.8 画像判別処理

#### 4.2.5 プランクトン計数および赤潮判別

判別処理によるプランクトンの種類の判別結果について、以下の4ステップの集計によって、赤潮判別を行う。

- (1) 単一測定点で複数画像を取得し、各画像で計数したプランクトン種類ごとの個体数の最大値を取得する。単一測定点の各プランクトン種類の個体数を(1)式にて算出する。

$$c_{ij} = \max(c_{ij0}, c_{ij1}, \dots, c_{ijk}) \dots (1)$$

ただし、

$$c_{ijk}$$

: i 番目のプランクトン種類、j 番目の測定点、k 番目の画像のプランクトン個体数

$c_{ij}$  : i 番目のプランクトン種類、j 番目の測定点のプランクトン個体数

- (2) 全測定点でのプランクトン種類ごとの最大値を全測定点で合計し、全測定点の個体数とする。全測定点の各プランクトン種類の個体数を(2)式にて算出する。

$$c_i = \max(c_{i0}, c_{i1}, \dots, c_{ij}) \dots (2)$$

ただし、

$c_{ij}$  : i 番目のプランクトン種類、j 番目の測定点のプランクトン個体数

$c_i$  : i 番目のプランクトン種類のプランクトン個体数

- (3) 全測定点の個体数を観察対象の海水体積で割り、密度(1mlあたりの個体数)とする。各プランクトン種類の密度(1mlあたりの個体数)を(3)式にて算出する。

$$d_i = \frac{c_i}{v} \dots (3)$$

ただし、

$c_i$  : i 番目のプランクトン種類のプランクトン個体数

$v$  : 観察対象の海水体積。海水を濃縮した場合は濃縮前の体積 [ml]

$d_i$  : i 番目のプランクトン種類の密度(1mlあたりの個体数) [個体数/ml]

- (4) 密度( $d_i$  : 1mlあたりの個体数)を各プランクトンの密度の基準値(個体数/mL)と比較して、基準値以上であれば、警戒または注意の有害赤潮の状態と判定する。基準値は表 4.2.2 に示した通りである。

#### 4.2.6 クラウドサーバへの保存

プランクトン計数および赤潮判別結果をクラウドサーバに保存する。図 4.2.9 に示す通り、赤潮判別システムを実行している PC からインターネットを介してクラウド上のデータベースに保存する。クラウドサーバとして、長崎県官民協働クラウドおよび NICT テストベッドを使用している。

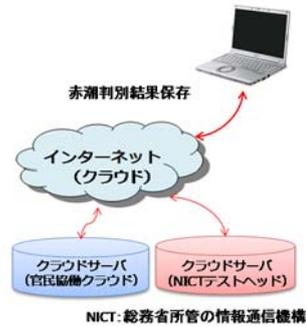


図 4.2.9 クラウドサーバへの保存

#### 4.2.7 実証試験結果

長崎県総合水産試験場にて提供して頂いた培養プランクトンにて、赤潮判別の実証試験を行った。実証試験結果を以下に示す。

##### (1) 採水～赤潮検知・通知処理時間

KPI(1)の設定時間：半日→15分に対して、実証結果の処理時間を以下に示す。

現状 : 6時間  
システム開発後 : 12.3分

上記処理時間は以下の条件にて計測した。

サンプル : Ha(ヘテロシグマアカシオ)の培養プランクトンサンプル  
単一測定点での画像数 : 10  
測定点数 : 10

##### (2) CNNモデルの判別改善

赤潮判別システムによるプランクトン判別改善を行い、正解率の検証を行った。

以下の条件にて計測した。

サンプル : 全5種類(Ca, Ck, Cm, Ha, Km)の培養プランクトンの画像ファイル  
単一測定点での画像数 : 10  
各種類の測定点数 : 5(合計50)

判別正解率を(4)式に示す。顕微鏡で撮影した画像には、対象の5種類のプランクトンに含まれない個体や焦点がずれていて判別不可能な個体が含まれるため、そのような個体をその他と分類し、正解率の計算から除外した。

$$\text{正解率} = \frac{\text{判別正解個体数}}{\text{対象の全個体数} - \text{その他に判別された個体数}} \cdots (4)$$

2018年10月に対して2019年1月のCNNモデルでは、前段処理を含めて正解率向上のため、以下の大幅な改造を実施し、2019年2月にさらに改善を行った。改善の結果、5種類全てのプランクトンについて、正解率が向上し、全プランクトンの平均正解率は91.5%となった。

CNNモデルに大きな変更があり、2018年10月については5種類のプランクトン判別精度の数値的な単純比較はできない。2019年1月のCNNモデルの判別結果を図4.2.10に、2019年2月のCNNモデルの判別結果を図4.2.11に示す。

改善点は以下のとおり。

- (a) プランクトン個体部分の2値化による検出アルゴリズムを変更した。
- (b) プランクトン判別に用いる切り出し画像において、背景の影響を除外するため、個体部分以外を削除した。
- (c) 切り出し画像において、ぼやけた画像を除外した。
- (d) 切り出し画像において、対象プランクトン以外のスリットや細かいゴミをサイズによって除外した。
- (e) 各測定点で複数画像を集計して計数結果を算出するようにした。

CNNモデル判別結果		正解				
2019年1月		Ca	Ck	Cm	Ha	Km
予測	Ca	95	4	4	0	1
	Ck	4	62	3	16	11
	Cm	15	4	87	0	10
	Ha	0	1	0	458	3
	Km	0	0	0	15	61
	Other	20	27	22	45	38
	計	134	98	116	534	124
	計(Other除く)	114	71	94	489	86
	正解率(Other除く)	0.833	0.873	0.926	0.937	0.709
	正解率平均	0.856				

図 4.2.10 プランクトン判別正解率(2019年1月)

CNNモデル判別結果		正解				
2019年2月		Ca	Ck	Cm	Ha	Km
予測	Ca	91	3	4	0	1
	Ck	0	59	1	1	0
	Cm	10	4	72	0	4
	Ha	0	1	0	415	3
	Km	0	0	0	19	75
	Other	18	22	34	25	21
	計	119	89	111	460	104
	計(Other除く)	101	67	77	435	83
	正解率(Other除く)	0.901	0.881	0.935	0.954	0.904
	正解率平均	0.915				

図 4.2.11 プランクトン判別正解率(2019年2月)

### 4.3 赤潮リアルタイム通知システム

#### 4.3.1 提供される情報および画面の遷移

システムからユーザーへ提供される情報および画面の遷移を次に記す。

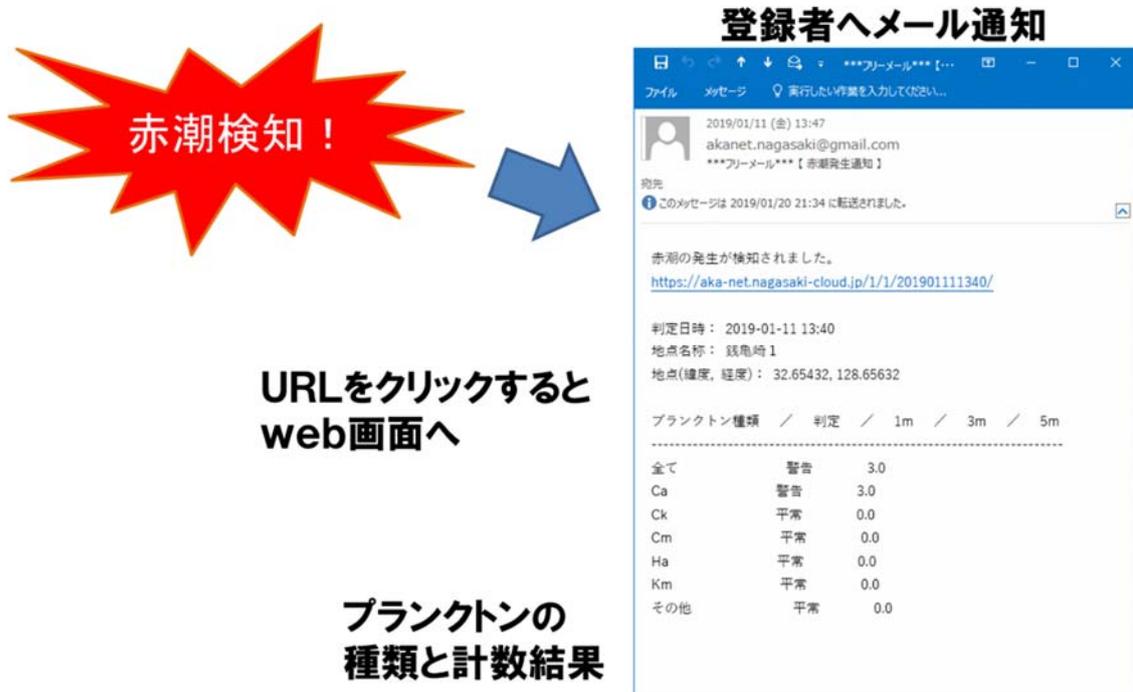


図 4.1 赤潮通知のフロー

メールに記載された URL から、赤潮判別結果を示すウェブアプリへ遷移する。画面上のポインタ（危険度が高い順に赤、黄、緑）をタップすると、計数結果が表示される。

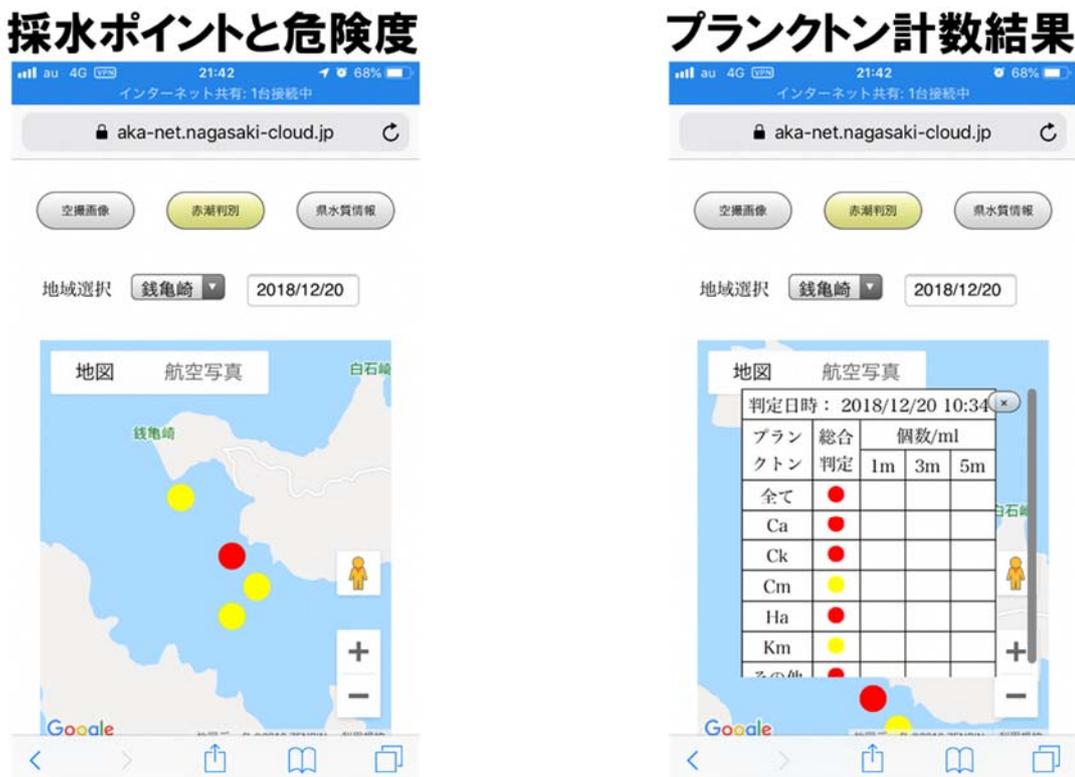


図 4.2 ウェブアプリ（赤潮判別結果表示）

※ 画面上の「赤」「黄」「緑」は、以下の危険度を示す。

赤（警戒）：餌止めの励行、生簀移動

黄（注意）：プランクトンの動向に注意し、餌止めあるいは生簀移動の実行および準備

緑（安全）：特に赤潮に注意する必要は無い

また、色の区分は表 4.4.2 の通り。

空撮画像ボタンをタッチすることで、空撮画像画面に切り替わる。画面上のポインタ（空撮画像は青色、三角形で表示）をタップすると、空撮画像が表示される。

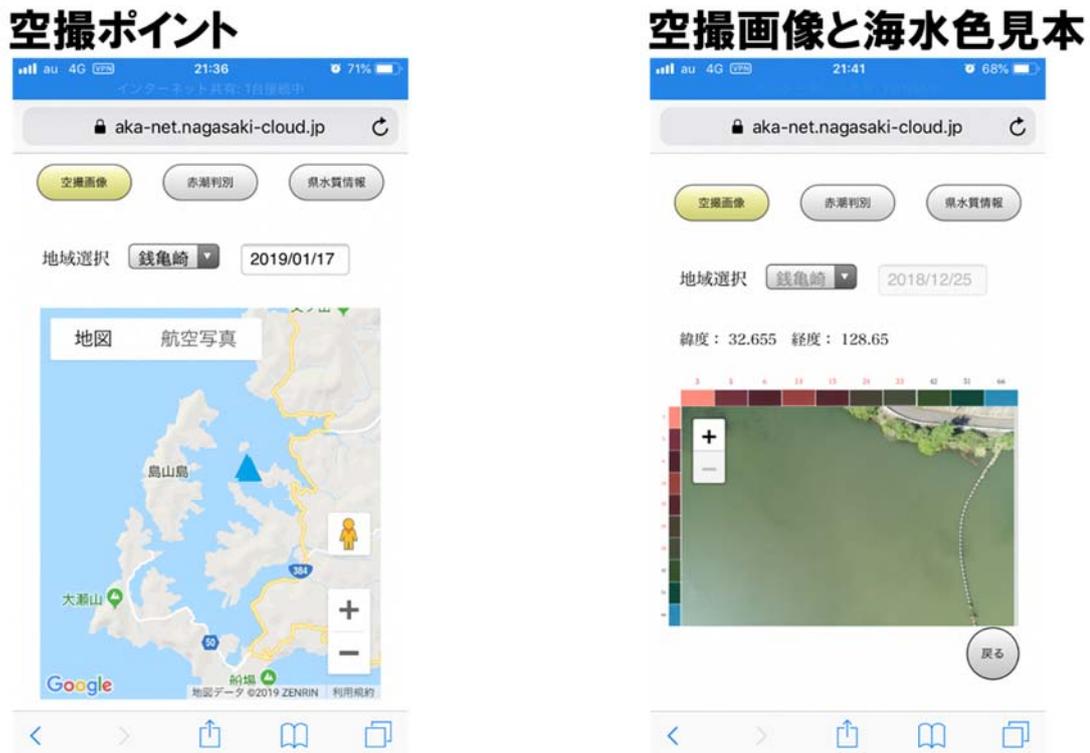


図 4.3 ウェブアプリ（空撮画像表示）

平成 31 年 1 月 22 日の実証実験において、赤潮検知からメール通知を経て、ユーザーがデータにアクセスするまでの所要時間は 20 秒であった。

#### 4.3.2 基本要件

海域全体の状況を養殖事業者が視覚的に理解できるユーザーインターフェース（危険度を色で示す等）の開発を行うとともに、検鏡結果をリアルタイムで通知する仕組みを構築する。通知に際しては、ウェブ上で情報を提供し、情報の更新が行われた旨、関係者に対しメールにてプッシュ通知を行う。

現在運用されている赤潮通知では、長崎県五島振興局を中心とし、メール、FAX 等で数量データ（地点、クロロフィル量、プランクトン量など）を通知する仕組みとなっているが、受信者（養殖事業者）がより視覚的、直感的に赤潮分布を理解できるよう、分布状況を図で提示する仕組みを構築する。

システム導入の簡便性に鑑み、インストール作業が不要なウェブアプリケーションとして

開発を行う。

- (1) 養殖事業者による実際の運用を意識したユーザーインターフェース
- (2) 情報の更新が行われた旨、関係者に対しメールにてプッシュ通知
- (3) 受信者（養殖事業者）がより視覚的、直感的に赤潮分布を理解できるよう、分布状況を図で提示する仕組みを構築

### 4.3.3 基本仕様

リアルタイム通知システムの基本仕様は次の通り。

赤潮判別システムによる判定の結果をウェブ上で地点ごとに示し、赤潮の危険性の高さに応じて関係者に対するメールでのプッシュ通知を行う。



図 4.4 概念図

次に、リアルタイム通知システムの基本構成を示す。下段、赤枠内が本システム。

現地で採水した海水を顕微鏡で撮影し画像データとしてPCに取り込むことで、インターネットを介してプランクトン個体数の計測を行い、赤潮判別結果をウェブ上に示すとともに赤潮の危険度に応じてメールにて通知する。



図 4.5 基本構成

リアルタイム通知機能概要を次に示す。

AKABOT II により採水された海水の赤潮判別結果、DJI ドローンによる海面撮影画像はクラウドサーバにて見える化処理され、インターネットを介しての結果表示と通知(メール)を行う。

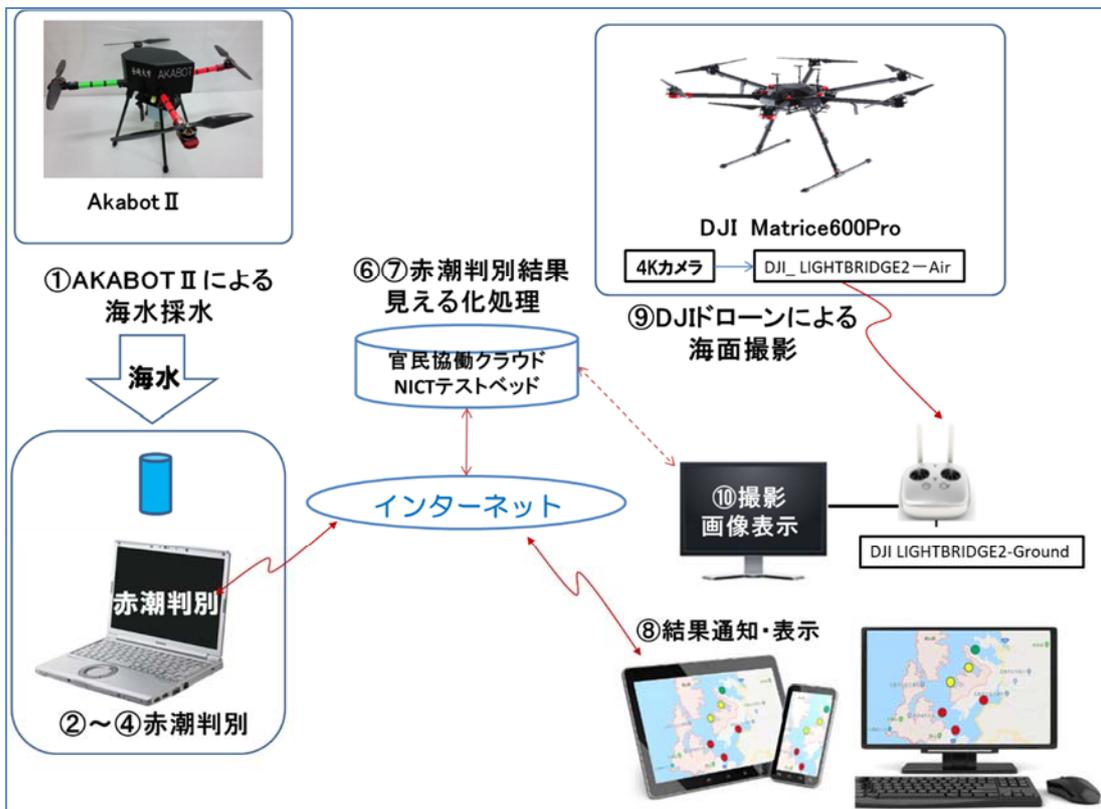


図 4.6 機能概要

下の図中、⑥～⑩について開発を行う。

区分	図中のNo	機能概要
赤潮判定部	①	AKABOTから海水採水管を受け取る(手動)
	②	海水をプランクトン計数版に注入(手動)
	③	計数版を顕微鏡にセット(手動)
	④	PCに画像取り込みプランクトン計数
	⑤	赤潮ディープラーニング学習結果を受け取る(佐世保高専)
リアルタイム通知部	⑥	プランクトン計数結果を受信 見える化クラウドサーバ(官民協働クラウド)
	⑦	赤潮判別結果の見える化・Web画面
	⑧	赤潮判別結果のメール送信
	⑨	DJIドローンによる海面撮影画像の受信
	⑩	DJIドローンによる海面撮影画像の画面表示

表 4.1 機能概要

#### 4.3.4 赤潮判別の見える化

機能要件を次に示す。

- (1) 地図上の赤潮状況表示
  - ・悪玉(赤潮)プランクトン発生量を3段階で表示
  - ・赤潮判定用しきい値を設定
  - ・地図ソフト上の赤潮判定表示をクリックするとその場所の情報を表示
    - 採水日時、採水場所
    - プランクトン発生量を表示
    - 海水採水場所の海面静止画
- (2) マップ表示期間を選択可能とする。
  - ・最新: 3日以内の最新情報を表示
  - ・期間: ユーザーが指定した開始日から終了日の間の情報を表示

ウェブ画面のイメージは次の通り。

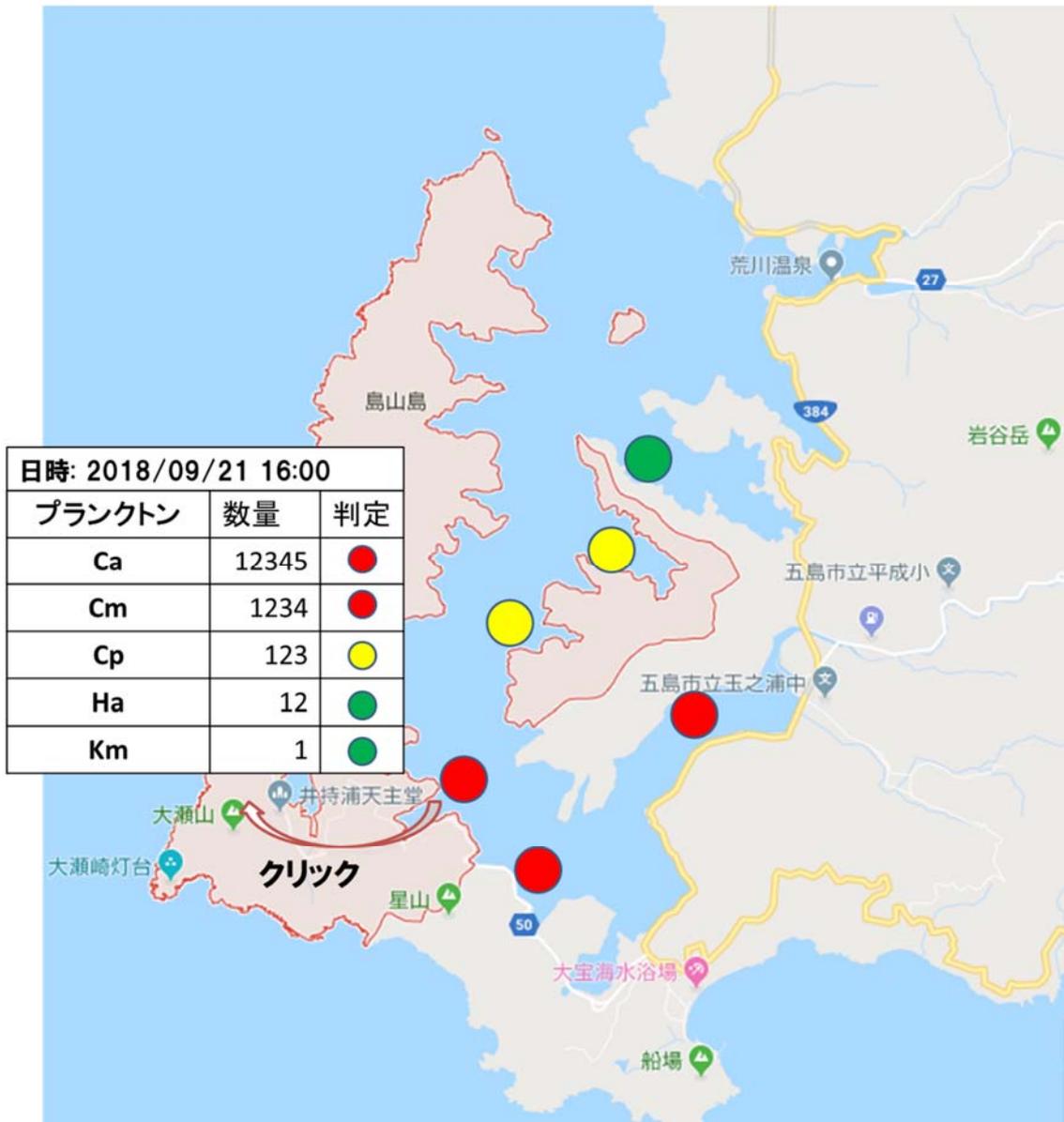


図 4.7 ウェブ画面表示イメージ①

#### 4.3.5 海面撮影映像の表示

機能要件を次に示す。

- ・海面撮影地点の画面表示
- ・海面撮影映像の画像キャプチャー
- ・色見本とキャプチャー画像の表示

ウェブ画面のイメージは次の通り。

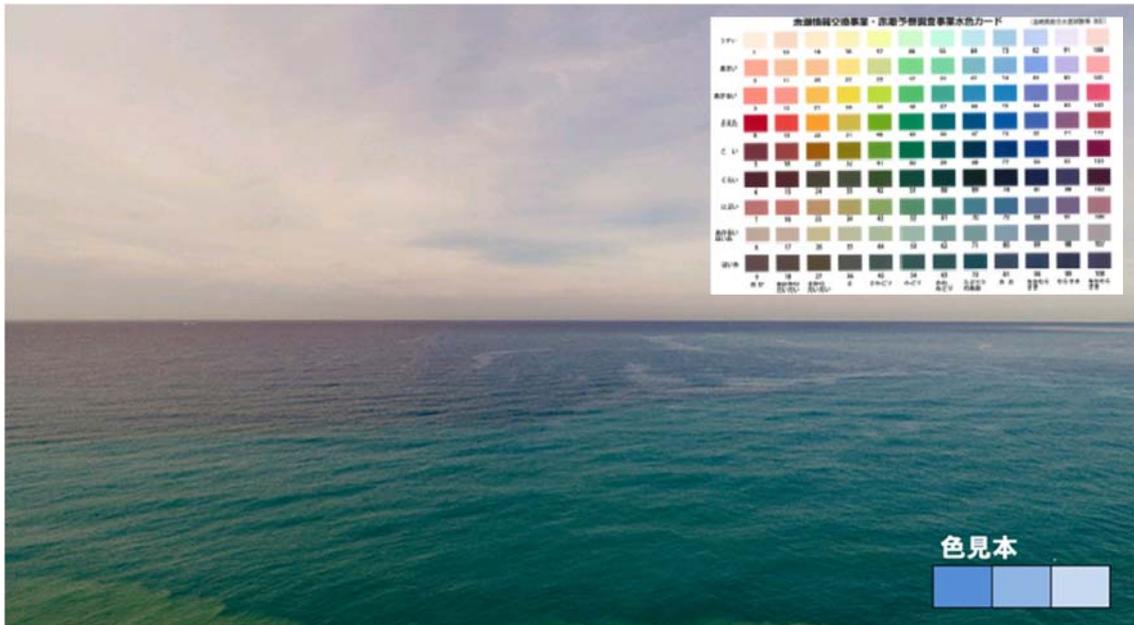


図 4.8 ウェブ画面表示イメージ②

その後の関係者へのヒアリングにより、実際に利用されている色見本は赤潮 7 色、通常（異常なし）3 色の計 10 色であることを確認した。また、海水色と色見本とを見比べやすい様に、上部および左側にカラーバー形式で表示し、写真を動かすことができる仕様とした。

次に、海面撮影映像データの流れを示す。



図 4.9 海面撮影映像データの流れ

#### 4.3.6 メール通知機能

機能要件を次に示す。

- ・赤潮と判断された（しきい値を超えた）場合関係者へメールでの自動通知を行う。
- ・メール本文の使用は次の通りとする。
  - －上部に、赤潮見える化ウェブサイトへ誘導する URL を表示する。
  - －中部に、判別日時、地点名称、地点（GPS データ）情報を表示する。
  - －下部に、プランクトンの種別、計数結果を表示する。

上述の使用に基づき、実装したシステムからの配信メールを次に示す。

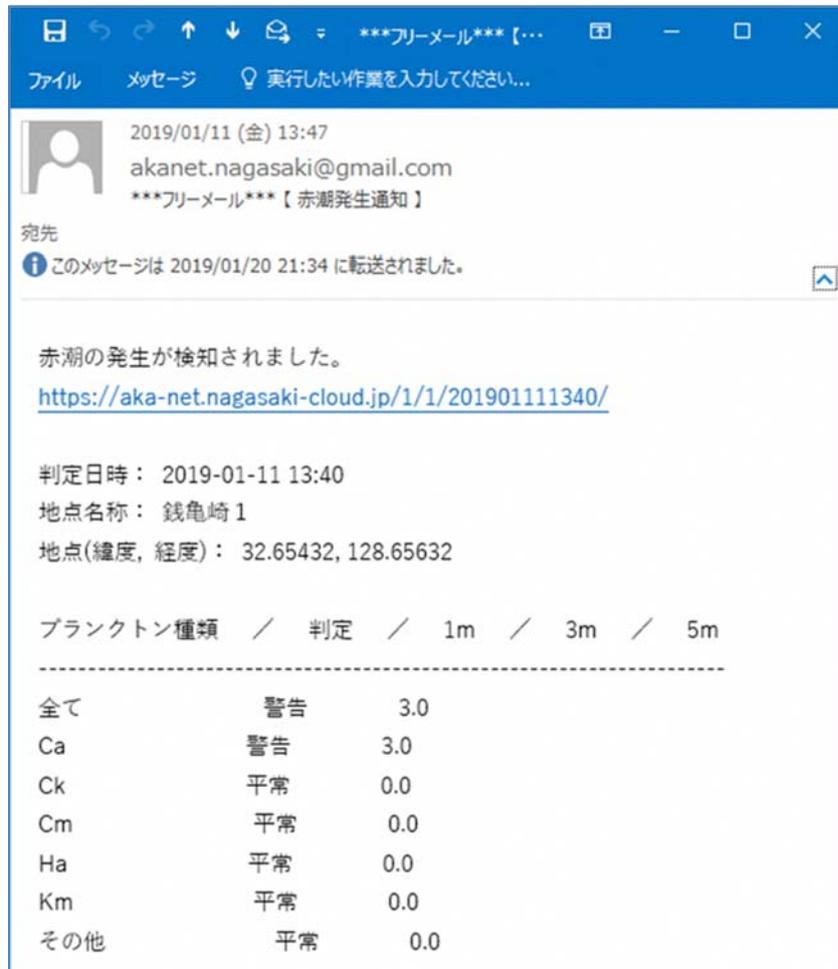


図 4.10 通知メールの例

#### 4.3.7 セキュリティー機能制限

機能要件を次に示す。

- ・ウェブアプリはセキュリティーの強化として HTTPS 方式とし暗号化を行う。
- ・利用者権限は管理者権限と一般ユーザ権限を設ける。
  - 管理者権限・・・ ①メンテナンス（追加、削除、変更）権限を持つ。  
②一般ユーザーと同様な閲覧権限を持つ。
  - 一般ユーザー権限・・・ データの閲覧権限を与える。

次の内容を実装した。

##### (1) BASIC 認証

赤潮リアルタイム表示の空撮画像ページ及び赤潮判別見える化ページにおいて、最初に Web アプリにアクセスする際に BASIC 認証方式によるログイン認証を行う。

BASIC 認証済みの場合はブラウザ単位で認証状態が共有され、ブラウザを閉じると再ログインが必要となる。

(2) 認証用のユーザーデータ

認証用のユーザー名とパスワードは官民協働クラウドサーバ内のデータベーステーブル（ユーザーマスタ）に登録したメールアドレスとパスワードをそれぞれ使用する。

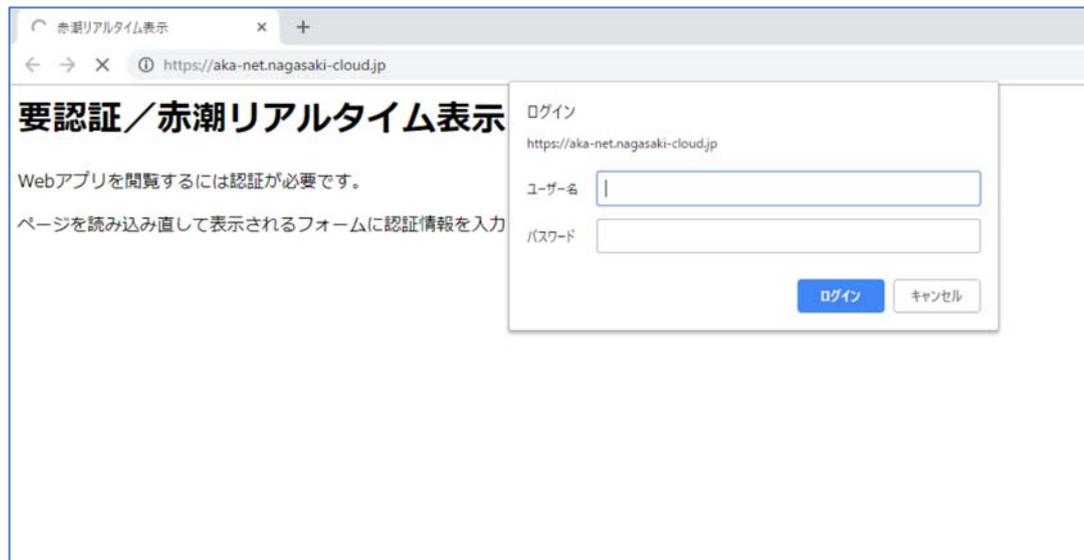


図 4.11 BASIC 認証

## 5. 地域課題解決による実証成果

### (1)採水から通知までの時間（6時間 → 15分に短縮）

現状、養殖事業者が午前中に採水したものを玉之浦地区で昼頃に五島振興局職員が回収し、支所に持ち帰って検鏡を行っている。仮に 10 時に採水されたものが 12 時に回収され、支所で 14 時から検鏡を開始した場合、事業者へは 16 時ごろに通知されることとなり、その場合採水から通知まで 6 時間程度かかることとなる。また、通常は、給餌を朝方に行うため、午前 6 時に給餌を行う場合、前日 10 時時点での情報を元に給餌を行うこととなり、20 時間のタイムラグが発生することもある。

ドローンを用いた採水では、ドローンの離陸から帰還まで一地点あたり 5 分以内で完了し、検鏡設備はドローン発着基地の側にあるため移動には 1 分程度、画像解析による検鏡では 1 サンプルあたり 4 分程度で有害プランクトン量を検出できることにより、これらのタイムラグを 15 分以内に短縮することが可能となる。

### (2)自主パトロールにかかる時間(年間 360 時間 → 120 時間に短縮)

現在、玉之浦地区では、年間を通じ、地元漁業者による 1～2 名体制で、おおよそ 2 日に 1 回、各 1～2 時間程度をかけて船により全域の目視パトロールを実施している。この作業を、原則ドローンを用いて実施することにより、ドローンにより赤潮発生の危険度が高いと判断される場合のみを目視に行くこととすることで、パトロールにかかる時間を 30 分程度へと短縮することが可能となる。これを毎日行った場合、自主パトロールにかかる時間を年間 120 時間程度へと短縮可能となる。

### (3)検鏡にかかる労働時間の低減(年間 100 時間 → 17 時間に低減)

顕微鏡を用いた検体の検査は現在人力で行わざるを得ず、1 件当たり 3～6 分程度を費やして実施している。実際には養殖事業者による自主検鏡、長崎県五島振興局職員による検鏡を合わせると推計 100 時間程度を年間費やしていると推計される。この作業を原則画像解析により実施し、検査者はそのチェックのみとすることにより、作業時間を 17 時間に低減可能となる。また検査者により個体数のカウントにずれが発生することも

あり、その解消にも画像解析技術は貢献する。

これら赤潮対策に費やす時間を漁労活動に振り分けること、また赤潮被害を未然に防ぐことにより、収入の向上が期待できる。

## 6. 実施スケジュール

実証項目	平成 30 年度							
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
1. 漁場の調査		→						
2. 環境パラメーター取得飛行ロボットの構築								
2-1. 海水サンプリング画像収集ロボットシステム						→	→	
2-2. 有害赤潮リアルタイム判別システム		→	→	→	→	→	→	
3. 飛行ロボットシステムの実験実証								
3-1. 飛行海域の調査		→	→					
3-2. 飛行ロボットによる実験		→	→	→	→	→	→	
4. リアルタイム通知システム構築					→	→	→	
5. 成果報告書のとりまとめ							→	→
6. 事業運営定例会の開催		★	★	★	★	★	★	★
7. 普及展開に向けた外部発表							★	★
							報道発表	報告会 沖縄

## 7. 明確化されたルール等（法令、条例、ガイドライン、規格等）

### (1) データ共有のガイドラインの作成

ルール概要 1 :

採水にかかるドローンからの空撮画像は、撮影対象の海域に設備を保有する養殖事業者が保有する権利者となり、画像データの公開先は湾内の養殖事業者や対象漁協、県、五島市、西海区水産研究所に限るものとする。

ルール概要 2 :

湾内で採水した水質データ（悪玉プランクトン量）は基本的にはドローン運用者、画像解析 AI 運用者が保有する権利者となるが、必要に応じて湾内の養殖事業者等の確認を要することとする。公開先はドローンからの空撮画像データと同様とする。

## (2)スマートドローンの漁場での活用に関するガイドライン

ルール概要 1 :

飛行予定エリアは予め電波環境調査を行うことが望ましい。また、携帯電話の基地局からの電波によって航行中に、機体が携帯電話のエリア外に出た場合、自動航行により引き返す、または発着点に戻る機能を具備することが望ましい。

ルール概要 2 :

機体自体は防水仕様、塩害対策仕様、着水時に沈まない工夫が必要と考えられる。

ルール概要 3 :

漁業権が設定された海域の上空を飛行する場合、それぞれの海面利用権を持つ事業者から予め許可を得て飛行するのが望ましい。その場合であっても、他人の施設（例えば、船舶、養殖施設等）の上空を飛行することは避けるべきであり、海面から 10m 以上の高度を保って飛行することが望ましい。また、海上の漁業者、ダイバー、遊泳者等に注意が必要となる。

## (3)ドローン活用のガイドライン(事故発生時の対策など)

ルール概要 :

採水ドローンである Akabot II は、独特な採水のための操作を必要とするため、操縦者は事前に講習を受けるものとする。

また、ドローン活用のガイドライン(事故発生時の対策など)は、国土交通省の『無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール』に則り、五島市、漁協および養殖事業者と協議の上で作成する。

課題 :

目視外でのドローンの飛行は制限されているため、現状では赤潮発生の注意が必要な海域を目視内での飛行によりカバーできるよう、複数のドローン発着場が必要となる。解決策として、ドローン自動操縦システムの装備やフェールセーフ機能の向上、操縦訓練、飛行申請マニュアル等を整備し、効率的な運用のために目視外での飛行が可能な体制を整えることが考えられる。

## 8. 実証事業の所感等

### (1)広域ドローンによる海水画像データの収集について

(気付き)

県の水産試験場では海水の色は 108 色に分類されるとしているが、ヒアリングと詳細な調査の結果、赤潮に関係する海水の色は 10 色程度に絞られることが判明。

(対応)

代表的な 10 色程度についてのみ分析する仕組みとし、より効率的な赤潮検知システムとした。

### (2)有害赤潮リアルタイム判別システムについて

(気付き)

・佐世保高専ベースの赤潮判別プロトタイプにて、五島で採水した海水を入力として実証したところ、実海水ではプランクトンの判別精度が良くないことが判明した。

- ・培養プランクトン画像による学習時は精度 98.8%と高成績だったが、実証の結果、学習した有害プランクトンではないことを目視で判別できる物体に対して、確度 100%で有害プランクトンであると判別してしまう例を複数確認した。

(対応)

有害赤潮プランクトンおよびその他のプランクトンの判別精度向上を実施した。判別精度向上のため、実施した内容と結果を以下に記載する。

- ディープラーニングの入力画像サイズを上げ、より精細な画像を用いた。  
(結果) 改善効果が無かったため、適用しなかった。
- 背景画像の除去を行い、プランクトン以外の影響を抑えた。  
(結果) 改善効果が無かったため、適用しなかった。
- 焦点がぼやけた画像の除去および鮮明化を実施した。  
(結果) 焦点がぼやけた画像の除去によって正解率を改善できた。

### (3) 需要に関するヒアリング調査

五島市水産課、長崎県五島振興局、五島漁業協同組合（国立研究開発法人水産研究・教育機構と愛媛大学にヒアリングした結果、主に、以下の意見を得た。

- ・ドローンや解析ソフトを活用した採水や検鏡の技術は、海洋環境のモニタリングの業務効率化に期待できる。
- ・初心者が検鏡によりプランクトンを特定することは難易度が高い。自動検鏡によりプランクトンを特定できる技術は、有望と考えられる。

長崎県の新松浦漁業協同組合（松浦市鷹島町）、針尾漁業協同組合（佐世保市針尾）、かん水魚類養殖業議会（長崎市）、養殖事業者（松浦市鷹島町）にヒアリングした結果、主に、以下の意見を得て、本実証事業の成果物の横展開の可能性を確認した。

- ・採水から検鏡の時間が短縮されると、業務効率化につながり有効である。
- ・タイやトラフグといった養殖魚はマグロよりも赤潮耐性が強く、餌止めをすればへい死を防ぐことが可能であるため、解析ソフトでは、餌止めタイミングを検知できるプランクトン種類とプランクトン数（正值でなくとも桁数が正しければ良い）がわかれば、実用可能と考える。

五島漁業協同組合玉之浦支所と本支所管轄の養殖事業者にヒアリングした結果、主に、以下の意見を得た。

- ・サービス利用料として月額数万円程度が適当。

同支所や養殖事業者等の現地関係者、本システムの開発者、有識者にヒアリングした結果、以下の効果と課題を確認した。

[効果] これまでよりも早期に赤潮を検知することにより、いち早く赤潮対策（餌止め・生簀移動等）を講じることが可能。

[課題] 協議体が本システムを導入するにあたっては、検鏡の精度を十分に検証することが必要。

## 9. 実証事業終了後の計画等

### (1) 実証終了後の IoT サービス

全国各地の漁業協同組合や養殖事業者等に対して、「海水サンプリング画像収集サービス」、「有害赤潮リアルタイム判別サービス」、「リアルタイム通知サービス」を提供することで、養殖業における赤潮被害を削減と事業採算性の向上に貢献する。

## 1) 事業内容

ドローン飛行システム（飛行、採水、画像転送通信）、画像解析ソフト（AI ディープラーニング）、クラウド上のデータベース、BI ツール（データの可視化）、養殖事業者への自動通知システム（スマートフォン、ガラケーに対応を想定）を一式でサービスとして提供する。

## 2) 収益モデル（初期コスト・ランニングコスト・サービス利用料・資金の流れ等）

- ・持続的な組織（法人格）が、漁業協同組合と養殖事業者から構成される協議体に対して、海水サンプリング画像収集サービス、有害赤潮リアルタイム判別サービス、リアルタイム通知サービスを提供する。
- ・協議体は、持続的な組織に対して、サービス利用料を支払うことにより、導入コストとランニングコストを負担する。

## 3) ヒアリング結果

五島漁業協同組合玉之浦支所と本支所管轄の養殖事業者にヒアリングした結果、主に、サービス利用料として一養殖事業者あたり月額数万円程度が適切との意見であった。

なお、同支所や養殖事業者等の現地関係者、本システムの開発者、有識者にヒアリングした結果、以下の効果と課題を確認した。

〔効果〕 これまでよりも早期に赤潮を検知することにより、いち早く赤潮対策（餌止め・生簀移動等）を講じることが可能。

〔課題〕 協議体が本システムを導入するにあたっては、検鏡の精度を十分に検証することが必要。

## 4) 被害額シミュレーションと月額利用料＞

五島市玉之浦地区では、2013年に2,400万円、2015年に2,000万円の赤潮被害が発生している。本事業のシステム未導入の場合の、将来の赤潮被害シミュレーションとしては、2年に1回2,000万円程度の赤潮被害額が想定される。

1年目、3年目、5年目に各1団体を新規利用者として拡大すると仮定した場合、月額利用料と初期費用を以下の通り試算した。ドローンは、各利用者が占有する機体導入のための初期費用が発生し、赤潮判別・通知は、各利用者が同一システムを共有するため、初期費用が発生しないことを前提とした。

（月額利用料）	（初期費用）
・ドローン：55,000円/月・団体	・ドローン：機体費用
・赤潮判別：44,000円/月・団体	・赤潮判別：なし
・通知システム、22,000円/月・団体	・通知システム：なし

上記の利用料を2年間負担した場合の合計額は下記となり、被害額シミュレーションの2,000万円よりは安価な金額となる。

- ・ドローン：55,000（円）×24（ヵ月）=1,320,000（円） + 機体費用
- ・赤潮判別：44,000（円）×24（ヵ月）=1,056,000（円）
- ・通知システム：22,000（円）×24（ヵ月）=528,000（円）
- ・総額（2年間）：2,904,000（円） + 機体費用

## (2) 普及展開等

同じくクロマグロの養殖を行っている伊万里湾や、赤潮被害の影響を受けている天草地方の養殖事業者からも同様の課題が提起されており、本サービス開発後はこれらを含め全国的に活用することが可能である。定量的な目標として、検知時間の短縮化や自主検知可能な事業者数の増加など、本事業で設定する目標を他地域にも展開可能である。

### 1) 展開主体及び体制

展開の主体・技術的な問い合わせ：長崎大学

システム全体の販売窓口：システムファイブ

システムごとの販売・お問い合わせ

- ・海水サンプリング画像収集ロボットシステム：安達
- ・有害赤潮リアルタイム判別システム：システムファイブ
- ・リアルタイム通知システム：KDDI

### 2) 展開方法

積極的な対外発表（学会発表、長崎大学東京セミナー）、イベント出展、論文発表、県を通じた関係機関へのアプローチ。

### 3) 展開先

協議体（漁業協同組合・養殖事業者）と研究機関（水産試験場・栽培漁業センター）を対象とする。

### 4) 展開における留意点

協議体の本システムを導入するにあたっては、検鏡の精度を十分に検証することが必要。

## (3) 今後のスケジュール

2年後の商用化を目指す。また本事業終了後も以下については継続して取り組みを行う予定である。

- 検鏡精度の検証と向上、検鏡作業の自動化検討
- 衛星画像を活用した赤潮予報の実現検討

## (4) ヒアリング結果

- ・国立研究開発法人水産研究・教育機構と愛媛大学にヒアリングした結果、主に、以下の意見を得た。
  - ドローンや解析ソフトを活用した採水や検鏡の技術は、海洋環境のモニタリングの業務効率化に期待できる。
  - 初心者が検鏡によりプランクトンを特定することは難易度が高い。自動検鏡によりプランクトンを特定できる技術は、有望と考えられる。
- ・長崎県の新松浦漁業協同組合（松浦市鷹島町）、針尾漁業協同組合（佐世保市針尾）、かん水魚類養殖業議会（長崎市）、養殖事業者（松浦市鷹島町）にヒアリングした結果、主に、以下の意見を得て、本実証事業の成果物の横展開の可能性を確認した。
  - 採水から検鏡の時間が短縮されると、業務効率化につながり有効である。
  - タイやトラフグといった養殖魚はマグロよりも赤潮耐性が強く、餌止めをすればへい死を防ぐことが可能であるため、解析ソフトでは、餌止めタイミングを検知できるプランクトン種類とプランクトン数（正值でなくとも桁数が正しければ良い）がわかれば、実用可能と考える。

実証項目	平成 31 年度		平成 32 年度		平成 33 年度	
	4-9 月	10-3 月	4-9 月	10-3 月	4-9 月	10-3 月

ア) 赤潮移動予測システムへの展開						
潮流データ収集方法の検討	→					
潮流計測システムの研究開発			→			
潮流シミュレーションモデルの研究開発				→		
イ) 海水採水スマートドローンシステムへの展開						
ドローン発着基地の整備	→					
15m 深度対応採水ドローン開発			→			
2 波長カメラによるスクリーニングの検証			→			
スマートドローン化の検討					→	
海水採水ドローンの実証					→	
ウ) 赤潮判別システムの高度化						
自動試料供給装置の研究開発	→					
画像判別の高精度化の研究開発			→			
時系列画像データを用いたプランクトン判別の実証実験					→	