

平成31年度
漁業環境改善推進事業のうち
リモートセンシングを活用した
有害赤潮の種判別手法の開発 事業

事業報告書

令和2年3月
株式会社パスコ

<目次>

1. はじめに	1-1
1.1 事業目的	1-1
1.2 事業内容	1-1
1.3 研究の目的	1-1
1.4 研究開発の目標	1-1
1.5 体制	1-1
2. 各研究の成果	2-2
2.1 有害赤潮広域発生状況把握手法の開発	2-2
2.1.1 はじめに	2-2
2.1.2 データ	2-2
2.1.3 2018 年度に開発した手法	2-2
2.1.4 結果	2-3
2.1.5 考察とまとめ	2-4
2.1.5.1 しきさいによる分類	2-10
2.2 赤潮発生海域予測モデルの開発	2-12
2.2.1 はじめに	2-12
2.2.2 研究開発の目的	2-12
2.2.3 データ	2-12
2.2.3.1 プラクトン細胞数	2-12
2.2.3.2 クロロフィル a 濃度	2-12
2.2.4 気象データ	2-13
2.2.5 解析手法	2-14
2.2.6 結果	2-15
2.2.7 考察	2-18
2.2.8 まとめ	2-18
2.2.9 Appendix	2-19
2.3 赤潮発生情報の GIS 化技術開発	2-20
2.3.1 はじめに	2-20
2.3.2 衛星データの GIS 化	2-21
2.3.2.1 GCOM-C	2-21
2.3.2.2 ひまわり 8 号	2-23
2.3.2.1 変換時の有明海・八代海チェック	2-24
2.3.3 衛星データ、データベース設計	2-25
2.3.4 データ検索 API	2-27
2.3.5 現場観測データ	2-29
2.3.5.1 長崎県	2-29
2.3.5.2 福岡県	2-29
2.3.5.3 熊本県	2-29
2.3.5.4 佐賀県	2-30
2.3.5.1 鹿児島県	2-30

2.3.6 GIS 情報配信システム	2-30
2.3.6.1 ユーザビリティ	2-31
2.3.6.2 画面設計	2-33
2.3.6.3 プログラムファイル構成設計.....	2-34
2.3.6.4 デモサイトの公開と改善要望の収集.....	2-35
2.3.7 まとめ	2-39
2.4 委員会の設置	2-40
2.4.1 第一回委員会	2-40
2.4.2 第二回委員会	2-40
2.4.3 第三回委員会	2-41
3. まとめ	3-42

1. はじめに

1.1 事業目的

近年、内湾を中心に赤潮や貧酸素水塊による水産資源の減少や、生産力の減少が顕著となっており、赤潮・貧酸素水塊による漁業被害を軽減するためのモニタリング技術や防除技術の研究開発を推進していく必要がある。

本事業では、有害赤潮による養殖魚類の被害軽減、赤潮発生を適切に捉えるため、人工衛星データを利用して有害赤潮のプランクトンサイズの推定や種判別をし、早期に有害赤潮の発生状況と分布範囲を迅速に把握する手法を開発することを目的として事業を行った。

1.2 事業内容

全体計画の3年間では、これまでの人工衛星を活用したことによる広域的な赤潮の発生・分布状況等に関する調査、蓄積されたデータ等を活用し、人工衛星（GCOM-C等）のビッグデータ・AIを活用して、広域的に赤潮の発生やプランクトンの種判別が可能な技術開発を行い、赤潮検知の高度化を行った。

1.3 研究の目的

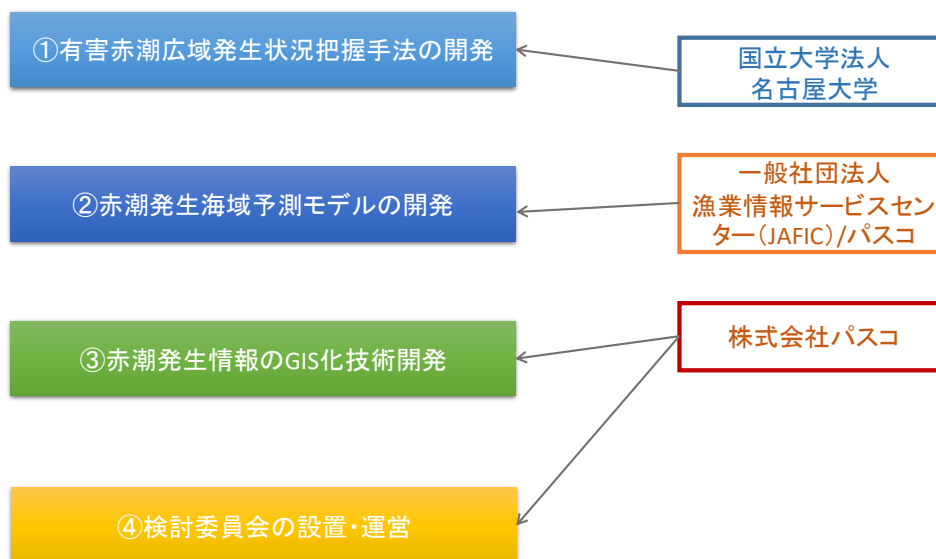
本研究は、人工衛星データを用いて赤潮を検知・予測する技術の開発、さらに検知・予測した赤潮情報を配信する技術開発を進めた。

1.4 研究開発の目標

人工衛星を活用し、赤潮発生を検知・予測する手法を開発した。

漁場環境の適切な管理に貢献する技術開発を行うことで、農林水産省の施策を推進するよう努めた。

1.5 体制



2. 各研究の成果

2.1 有害赤潮広域発生状況把握手法の開発

2.1.1 はじめに

赤潮植物プランクトン群集は、植物プランクトンの持つ色素系や光の散乱特性等によって、その色が異なると考えられる。これまで、植物プランクトン群集を区別する手法としては、クロロフィル a 濃度を用いて、経験的に植物プランクトン群集の違いを区別することが行われていたが、最近では衛星で直接測定される海面放射輝度 (Rrs) スペクトルの違いを用いて判別することが試みられている。さらに最近では、Rrs スペクトルから、植物プランクトンの吸収スペクトルおよび粒子の散乱スペクトルを求める手法が、開発されたため、植物プランクトンの持つ吸収・散乱特性を利用して区別する試みが始まっている。

2018 年度は、夏の有明海の赤潮について、珪藻赤潮と *Chattonella* 赤潮に注目し、それぞれの海域の衛星 MODIS の Rrs 情報によって、光学的な特性の違いを検討して、分類する手法を開発した (図 1)。本年度はこの MODIS アルゴリズムが 2018 年と 2019 年でどの程度対応するのかを検討し、さらに日本の衛星「しきさい」に搭載されている SGLI のデータを用いることができるように手法を変更することを検討した。また、現場で観測したデータを用いて SGLI の検証を行った。

2.1.2 データ

MODIS データは、Ocean color web (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) から 2018 年と 2019 年の 5 月から 10 月の L2 リモートセンシング反射率 (Rrs) とクロロフィル a (CHL) データをダウンロードし、画像解析ソフト Wimsoft で幾何補正を行った。SGLI データは、JASMES (https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/jasmes/sqli_nrt/index.cgi) から、各波長の正規化放射輝度 (NWLR) と CHL をダウンロードした。NWLR は地球外太陽照度によって Rrs に変換を行った。赤潮データは、有明海と八代海の珪藻と *Chanttonella* の細胞数を赤潮ネット (https://akashiwo.jp/public/kaikuInit.php?qkaiku_id=1&sid=1) から取得した。

2.1.3 2018 年度に開発した手法

2018 年度に開発した手法 (図 1) では、4 段階に分けて赤潮水塊の判別を行っている。まず 555nm に最大値があるかどうかによって、555nm 以下に最大値がある場合には、きれいな水 (clear water) と判別する。次に、Rrs(555) の値が 0.007 sr⁻¹ 以上であるかを確認し、0.007 sr⁻¹ 以上の明るい水塊は、濁った水 (Turbid water) とする。さらに、

$$SS(645) = R_{rs}(645) - R_{rs}(555) - (R_{rs}(667) - R_{rs}(555)) * \frac{(645 - 555)}{(667 - 555)}$$

を用いて、植物プランクトンの多い赤潮かどうかを判定し、SS(645)<0 の場合は、植物プランクトン量がある低い混合水 (Mixed water) とする。最後に、現存量の指標として、

$$RBR = \frac{R_{rs}(678) - R_{rs}(555)}{R_{rs}(667) - R_{rs}(555)}$$

光散乱を表す

$$b_{bp-index}(555) = 0.37 \times \frac{R_{rs}(555)R_{rs}(667)}{R_{rs}(555) - R_{rs}(667)} =$$

を用いて、

$$b_{bp-index}(555) > 0.005 RBR - 0.0049$$

の場合は *Chattonella* (Raphidophyte)、そうでないときは珪藻 (Diatom) とした。なお、現在は、

$$b_{bp-index}(555) > 0.0019RBR^{-2.261}$$

に基準を変更している。

2.1.4 結果

(1) MODIS で推定した 2018 年と 2019 年夏の赤潮

2018 年と 2019 年の夏について、現場で観測された赤潮の細胞数と MODIS から推定した赤潮の判別結果を比較した（図 2、図 3）。2018 年の 5 月と 6 月には、現場では *Chattonella* 赤潮は観測されず、珪藻の細胞数は 2 日間ほど佐賀沖で高かった。同時期は雲が多く、利用できた MODIS データは少なかったが、佐賀沖では 5 月 10 日には珪藻赤潮が、11 日には珪藻赤潮と *Chattonella* 赤潮が起きていると判別された。7 月は佐賀沖・諫早湾で、前半に珪藻赤潮、後半に *Chattonella* 赤潮が観測され、MODIS でも佐賀沖で 14 日に珪藻、27・28 日に *Chattonella* と珪藻の赤潮が判別された。8 月には、特に前半に佐賀沖・諫早沖で *Chattonella* 赤潮が頻発しており、MODIS では 5、14、21 日に *Chattonella* と珪藻赤潮が判別できている。9 月・10 月には *Chattonella* 赤潮は観測されておらず、珪藻赤潮も少ない。一方、MODIS では、9 月 3・5 日、10 月 13、20、22、25 日に珪藻あるいは *Chattonella* の赤潮が起きたと判別されている。

一方 2019 年では、6 月には現場でも MODIS でも、赤潮は観測・判別されていない。7 月から 8 月前半には、*Chattonella* は観測されておらず、珪藻赤潮が何度か観測されている。MODIS では、珪藻赤潮が多く判別されているが、7 月 26 日と 31 日には *Chattonella* 赤潮と判別されている。9・10 月の有明海には *Chattonella* 赤潮は観測されておらず、珪藻赤潮が散見されている。MODIS でも主に珪藻赤潮と判別されたが、*Chattonella* 赤潮も 9 月 16 日や一部の海域で判別されている。一方、八代海では 8 月後半から 9 月中旬にかけて *Chattonella* 赤潮が観測されている。MODIS では、データが少なかったが、八代海のデータがある場合にも、赤潮とは判別されてなかった。

(2) SGLI での推定手法の検討

SGLI(412、443、490、530、565、674nm)は、MODIS(412、443、488、555、645、667、678nm)と波長が異なっている。従って、MODIS を用いて開発した手法は、そのままではめることはできない。そこで、今回 SGLI 用に変更するにあたって、まず、有明海で蓄積した光学データを用いて、Rrs(488)は Rrs(490)に、Rrs(555)は Rrs(530)と Rrs(565)、Rrs(667)は Rrs(674)から換算する式を作成した。また、SS(645)と RBR はどちらも基本的に植物プランクトンの現存量を表すため、SGLI では CHL を利用することとした。また八代海のような植物プランクトン現存量の少ないところでも、珪藻か *Chattonella* の判別ができるように、今回は SS(645)を利用せず、直接、 $b_{bp-index}(555)$ と CHL を比較することとした。

まず、MODIS での手法開発に用いた 2016 年 8 月 18 日のデータで、珪藻と *Chattonella* の判別に RBR と $b_{bp-index}(555)$ の関係の代わりに、CHL と $b_{bp-index}(555)$ の関係を用いてみた。MODIS データを使って、RBR と CHL を利用して判別した結果では、ほぼ同様となった（図 4、図 5）。さらに、2018 年 7 月 14 日の珪藻赤潮、7 月 28 日の *Chattonella* 赤潮、9 月 3 日の珪藻赤潮でも、MODIS データを利用した場合には、RBR を CHL に切り替えても、珪藻と *Chattonella* の分布はほぼ同様となった。

次に、実際に SGLI データを用いて、珪藻赤潮と *Chattonella* 赤潮の判定を行った。珪藻赤潮が出ており、*Chattonella* のほとんど発生していない 2018 年 7 月 12 日に近い、13 日の SGLI データでは、有明海湾奥部のかなり広い範囲で、*Chattonella* 赤潮と判別されてしまい、現場の状況と異なっていた（図 6）。この海域では SGLI の CHL の濃度が 10 mg m^{-3} 以上と高い。一方、7 月 14 日の MODIS データではこの海域の CHL は低く、赤潮が発生している海域は珪藻赤潮と判別されており、現場の状況に近くなっている。同じ日でないとしても、MODIS と SGLI の違いが何によって起こったのか今後さらに検証する必要がある。

2018 年 7 月 31 日には、*Chattonella* 赤潮と珪藻赤潮の両方が観測されている。この日に近い 7 月 28 日には、MODIS では佐賀沖の濁った海域と珪藻赤潮の間に *Chattonella* 観測され、SGLI では MODIS よりもやや南の珪藻赤潮の海域の中に *Chattonella* 赤潮が散在する形で判別されている。この日は雲があり SGLI も MODIS もあまり条件が良いと言えないデータではあるが、現場データと

対応しているといえよう。

2018年9月3日は佐賀沖から諫早湾にかけて珪藻赤潮が観測されている(図8)。同日のMODISのデータでは佐賀沖の湾奥のごく一部で珪藻赤潮と判別されている。SGLIに関しては、有明海の広い範囲で珪藻赤潮と判別され、熊本沖では一部 *Chattonella* 赤潮と判別されている。多くの海域はSGLIのCHLは 10 mg m^{-3} 以下と比較的低く、特に湾外や八代海西部の 1 mg m^{-3} 前後の海域でも珪藻赤潮と認識されている。これは今回の判定基準に混合水を設けなかったためとも考えられる。

2019年9月17日は八代海で *Chattonella* 赤潮が観測されている。同日のMODISおよびSGLIデータでは、八代海に *Chattonella* 赤潮の判別はされていない。SGLIでは八代湾東部では珪藻赤潮、西部ではきれいな水と判定されている。MODISでは、八代海の多くの海域で混合水、東部湾口部できれいな水と判定されている。

(3) SGLIデータの検証

2018年度と2019年度に有明海で取得したCHL、懸濁物質重量(TSM)、RrsでSGLIデータを検証した(図10)。CHLについては、現場データとSGLIデータの間に強い相関はあるものの、全体的には2~10倍近くの過大評価であり、2点については1/10以下の過小評価となっている。TSMについては、現場値 $2\sim30\text{ g m}^{-3}$ の場所で、多くの値が $2\sim10\text{ g m}^{-3}$ でほぼ一定となっており、 10 g m^{-3} 以下の4点で 20 g m^{-3} 近くと過大評価となっていた。短波長のRrs(380)、Rrs(412)、Rrs(443)については、現場データとSGLIデータは負の相関があり、多くのデータは過小評価で値も負となっていた。また、Rrs(490)については現場データと相関がなくほぼ一定の値となっていた。長波長側のRrs(530)、Rrs(565)、Rrs(674)については、全体には現場値に近く、正の相関を示していたが、変動も多くなっていた。このように、有明海のSGLIのデータは、CHLやTSM、さらにRrsについても、まだ精度は十分ではなく、今後の改良が期待される。赤潮の種類判別のような、Rrsの精度の必要とされる処理にはまだ十分でない可能性が高い。

2.1.5 考察とまとめ

今年度はまず、2018年と2019年の夏の赤潮に関して、現場観測とMODISで推定した判別結果を比較した。その結果、7・8・9月では赤潮の有無、珪藻と *Chattonella* の判別ともにある程度は対応関係が見られるようであったが、5・10月では、現場では見られない *Chattonella* 赤潮がMODISで判別されることが多かった。そのため、赤潮種の判別には、衛星データによる光学的な特徴だけではなく、季節などの情報も含めて判断する必要があるかもしれない。また、2019年に9月に八代海で起きた *Chattonella* 赤潮に関しては、対応データが少ないものの、MODISでは赤潮とも判別されなかった。もともと有明海湾奥部の光学特性を基に作成したアルゴリズムであることもあり、現状ではプランクトン量が少ない場合は判別を行わない設定になっている。そこでSGLIでの推定手法を開発するにあたっては、プランクトン量が少ない時にも判別ができるようにすることを検討した。

次に、MODISデータ用に開発した手法を基に、SGLIデータを利用する手法に修正を行った。波長の違いを考慮するために返還式を作成し、さらに、SS(645)とRBRをCHLに置き換えることによって、返還が困難な式を利用しないだけでなく、現存量の少ない場合には種類判別が可能にした。基本的にMODISと同様の判別を行うことができる場合も多かったが、7月14日(現場は12日、MODISは13日)のように、SGLIとMODISの判別に大きな違いがある場合も見られた。これはSGLIデータの問題である可能性もあり、今後の改善が期待される。また、MODISの手法では混合水と考えられた植物プランクトン現存量がやや少ないところでも、判別は可能となったが、必ずしもこの判別が現場に対応していない場合もあった。さらに、八代海の *Chattonella* 赤潮の判別はできなかった。今後CHLの利用の仕方については、さらに検討を行なう予定である。

最後に、SGLIのデータを有明海の現場データで検証した。その結果、CHLのデータの多くは過大評価しており、また短波長のRrsは、現場Rrsとの相関が負であり、長波長側のRrsもバラつきが大きかった。今後、赤潮を正確に判別するには、SGLIデータの改善が必要不可欠である。JAXAでは2019年度内に、Version 2のSGLIプロダクトの大気補正手法を確立し、6月から処理を開始する予定である。

来年度はこのVersion 2データによって、精度よく赤潮判別を行えるように、手法の改良を行う予定である。