

令和2年度 漁場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

報告書

令和3年3月

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
共同実施機関

株式会社パスコ（代表）
国立大学法人 名古屋大学
一般社団法人 漁業情報サービスセンター

<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
1.6 3年間の成果	1-2
2. 有害赤潮広域発生状況把握手法の開発	2-3
2.1 はじめに	2-3
2.2 データ	2-3
2.3 MODIS を用いた手法	2-3
2.4 GOCI に用いた方法	2-4
2.5 SGLI を用いた手法	2-4
2.6 SGLI の Rrs および CHL の検証	2-5
2.7 2018年夏季の <i>Chattonella</i> 赤潮と珪藻赤潮の変遷	2-6
2.8 考察とまとめ	2-9
3. 赤潮発生海域予測モデルの開発	3-11
3.1 はじめに	3-11
3.2 研究開発の目的	3-11
3.3 データ	3-11
3.3.1 プランクトン細胞数	3-11
3.3.2 クロロフィル a 濃度	3-12
3.3.3 気象データ	3-12
3.4 解析手法	3-13
3.5 結果	3-14
3.6 考察・まとめ	3-19

4. 赤潮発生情報の GIS 化技術開発	4-20
4.1 はじめに	4-20
4.2 衛星データの GIS 化	4-21
4.3 現場観測データ	4-21
4.4 GIS 情報配信システム	4-22
4.4.1 ユーザビリティ（使いやすさ）	4-23
4.4.2 画面	4-23
4.4.3 携帯端末対応	4-26
4.4.4 まとめ	4-26
5. スマート養殖の推進に向けたデータベースの構築	5-27
5.1 はじめに	5-27
5.2 ICT ブイの設置	5-27
5.3 ICT ブイデータへのアクセス	5-28
5.4 まとめ	5-28
6. 委員会の設置	6-29
6.1 第一回委員会	6-29
6.2 第二回委員会	6-29
6.3 第三回委員会	6-30
7. まとめ	7-30

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

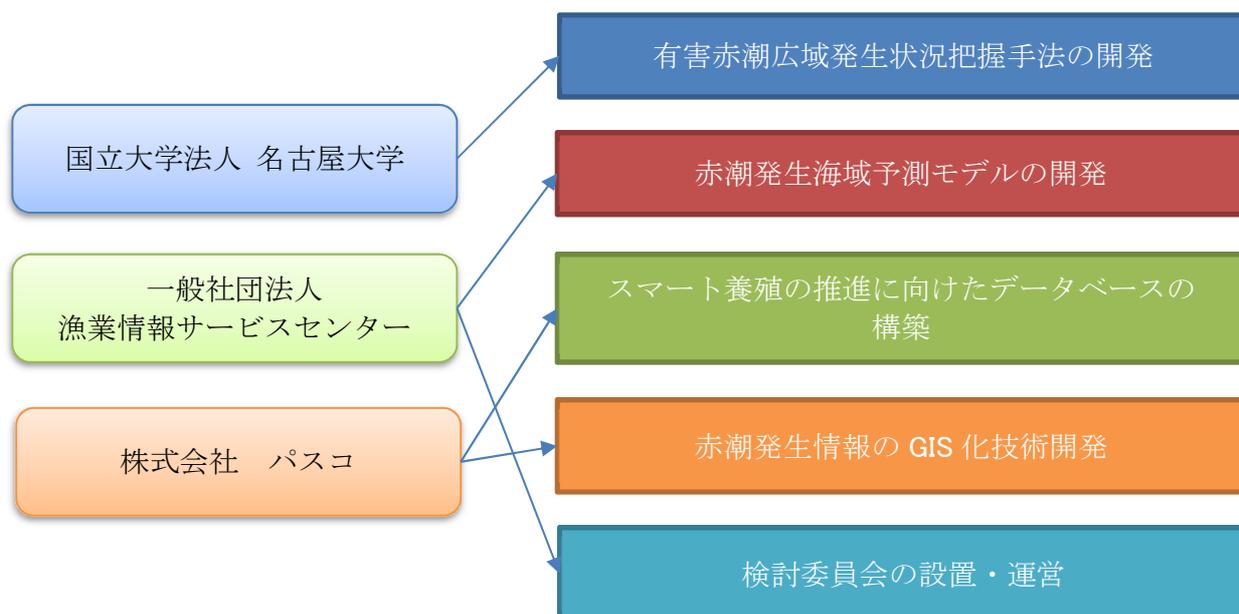


図1 体制図

1.6 3年間の成果

本研究は、平成30年度からの3年間の事業である。以下に3年間の仕様ならびに提案とその達成状況を示す。

最終的にはすべての仕様を満たすとともに改善、普及に向けた取り組みが出来た。

No	仕様	仕様に対する提案	詳細内容	補足説明	達成
1	プランクトンサイズ推定やプランクトン種判別	H31年度までに達成	MODISを用いてプランクトンサイズ推定やプランクトン種判別		○
2			「しきさい (GCOM-C)」を利用した有明海での反射率データの検証		○
3		人工衛星データの補正	有明海での「しきさい (GCOM-C)」反射率の精度向上	観測頻度が低く回数は少なかったが、その中で精度向上が出来た。	○
4		プランクトン種判別	「しきさい (GCOM-C)」での有明海の夏の珪藻赤潮とシャットネラ赤潮	豪雨災害のように「天候」などの特殊なイベントがあると精度が落ちる場合があることがわかった。ただし、衛星データからは判別できないので、衛星データを使った種判別としては一定のゴールに達した。また、夏のデータをまとめたPDFを配布した。	○
5	赤潮発生海域予測モデルの開発	H31年度までに達成	AIを利用して、クロロフィルa濃度から珪藻の細胞数を推定す		○
6		AIの改善	発生条件の追加	天候、座標等を追加した。	○
7		種の追加	AIにかける件数としてはデータが少ないがシャットネラについては長期の検証が出来た。シャットネラ含め日々増えるデータを現在も解析中。夏のデータ作成して画面表示結果画像を19日に配布した。		○
8	赤潮発生情報のGIS化技術開発	H31年度までに達成	「しきさい (GCOM-C)」の水温ならびにクロロフィルa濃度のWebGIS配信		○
9			「ひまわり」の水温ならびにクロロフィルa濃度のWebGIS配信		○
10			現場観測データの統一フォーマット化		○
11			利用者に向けた改善	利用者意見を聞きながら改善開発を行うエクストリーム開発で、観測日カレンダーなど3件の改善を実現できた。	○
12		成果をWebGISにて配信	種判別結果のWebGIS配信	2021/01から運用中。ダミーでの表示案をもとに色などの改善を実施。	○
13		赤潮予測結果のWebGIS配信	2021/02から運用中。操作して、データが無い場合のホワイトアウトなどの改善を実施	○	
14		利用者に向けた改善	携帯で画面が崩れない、一定の操作が出来るようにした。 上記二つの提示期間が短く、意見をあまり取り入れられていない。2月19日までのご意見は22日に反映してリリースした。	○	
15	スマート養殖の推進に向けたデータベースの構築	ブイの設置	2つのテレメータを設置し、クロロフィルa濃度、水温等の取得	3月の天候を見て、撤去予定。	○
16		ブイサーバーの設置	クラウド上にブイサーバーの設置		○
17			テレメータからのデータ受信とブイサーバーへの反映		○
18			Web-APIによる赤潮サイトとの連携	ブイ設置2020/10、その後ブイサーバー実運用開始	○
19	検討委員会の設置・運営		第一回		○
20			第二回		○
21			第三回	準備不足で延期となった。	○

図2 成果の一覧

2. 有害赤潮広域発生状況把握手法の開発

2.1 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。

本研究では、夏の有明海の珪藻赤潮と *Chattonella* 赤潮に注目し、その判別手法を開発した。まず、2018 年度には衛星センサー MODIS の Rrs 情報によって、それぞれの海域の光学的な特性の違いを検討し、判別する手法を開発した。2019 年度には、このアルゴリズムによって MODIS データが 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した。最終年度の本年度は、SGLI のデータ検証をさらに進め、SGLI 用の手法を確定するとともに、MODIS 用に開発したアルゴリズムを韓国の静止衛星 GOCI にも適応した。さらに、これらのデータを用いて 2018 年の夏季の赤潮の変遷を観測し、その有効性を確認した。

2.2 データ

MODIS データは、Ocean color web (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) から 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。GOCI データは、韓国海洋科学技術院の韓国海洋衛星センター (<http://kosc.kiost.ac/>) からデータを取得し、GOCI Data Processing System (GDPS) で処理を行った。SGLI データは、JASMES (https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/jasmes/sgli_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 *Chattonella* 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。

また、SGLI データを検証するために、JAXA の設置した自動で Rrs を測定する AERONET-OC のデータ、および本プロジェクトで 2018・2019 年に観測した CHL データを用いた。

2.3 MODIS を用いた手法

MODIS 用に開発した手法では、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赤潮を形成するほど高くない水とした。最後に、現存量の指標として、

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

光散乱を表す指標

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

を用いて、

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

の場合は *Chattonella* (Raphidophyte)赤潮, そうでないときは珪藻 (Diatom) 赤潮とした。

2.4 GOCI を用いた方法

GOCI を用いた方法では、波長の少し異なる MODIS の方法からいくつかの変更を加えている。一つは、SS を用いたブルームの検知には、SS(645)の代わりに SS(490)、

$$SS(490) = R_{rs}(490) - R_{rs}(443) - (R_{rs}(550) - R_{rs}(443)) * \frac{(490 - 443)}{(550 - 443)}$$

RBR の代わりに、正規化差赤色ピークインデックス NDRI を利用し、

$$NDRI = \frac{R_{rs}(680) - R_{rs}(660)}{R_{rs}(680) + R_{rs}(660)}$$

ブルームの領域を、SS(490) < 0.0002 かつ NDRI > 0 とした。また、散乱係数指標 $b_{bp_index}(555)$ は、以下の式から計算した。

$$b_{bp_index}(555) = \frac{R_{rs}(555)R_{rs}(660)}{R_{rs}(555) - R_{rs}(660)} * 0.35$$

2016年8月18日の *Chattonella* 赤潮と 2016年9月9日の *Skeletonema* 赤潮での衛星データを用いて、NDRI と $b_{bp_index}(555)$ の関係 (図3) から、両種の境界を以下とした。

$$b_{bp_index}(555) = 0.00165e^{-4.67NDRI}$$

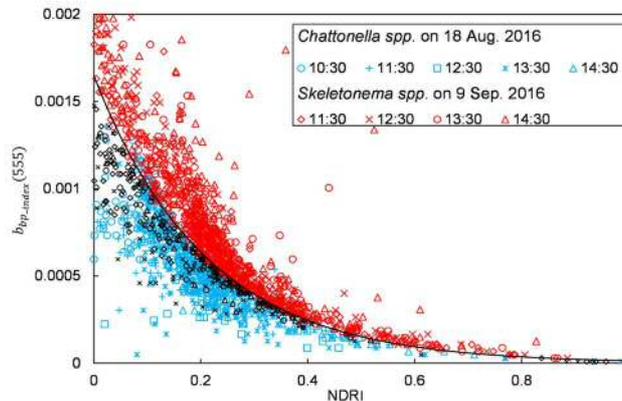


図3 2016年8月18日の *Chattonella* spp. (赤) と 2016年9月9日の *Skeletonema* spp. (青) のブルームでの、NDRI と $b_{bp_index}(555)$ の散布図。黒は8月18日で境界線よりも下の点。

2.5 SGLI を用いた手法

SGLI は、MODIS および GOCI と異なり、クロロフィルの蛍光チャンネルがない。そのために、現存量としては蛍光チャンネルを用いた RBR や NDRI ではなく、クロロフィル a 濃度を用いることとした。SGLI のクロロフィル a 濃度は沿岸の植物プランクトンの多い海域では、主に $Rrs(530)/Rrs(565)$ が利用されている。また、他のチャンネルも波長が若干異なるため、収集した現場光学データを用いて、以下の SGLI と MODIS の波長間の変換式を作成した。

$$\begin{aligned} Rrs(488) &= Rrs(490) * 0.9872 + 0.000004 \\ Rrs(555) &= 0.35682 * Rrs(530) + 0.6559 * Rrs(565), \end{aligned}$$

$$Rrs(667) = 0.01541 * Rrs565 + 1.0449 * Rrs(674) - 0.00019$$

また赤潮か赤潮でないかの判定の基準は、クロロフィル a (Chl-a) の濃度 5 mgm^{-3} とした。この値はやや低めであるが、これは次の章で述べるように SGLI がクロロフィル a の高い値を過小評価する傾向にあることによっている。さらに、Chattonella spp. と珪藻の判別の境界には、 $b_{bp_index}(555)$ とクロロフィル a (Chl-a) の関係式として、

$$b_{bp_index}(555) = -0.0005 \log_{10}(\text{Chl} - a) + 0.0015$$

を用いた。これは 2016 年 8 月 18 日の MODIS データを用いて、 $b_{bp_index}(555)$ と RBR の関係から判定した結果と、 $b_{bp_index}(555)$ とクロロフィル a の関係から判定した結果に大きな違いがなかったことによっている (図 4)。

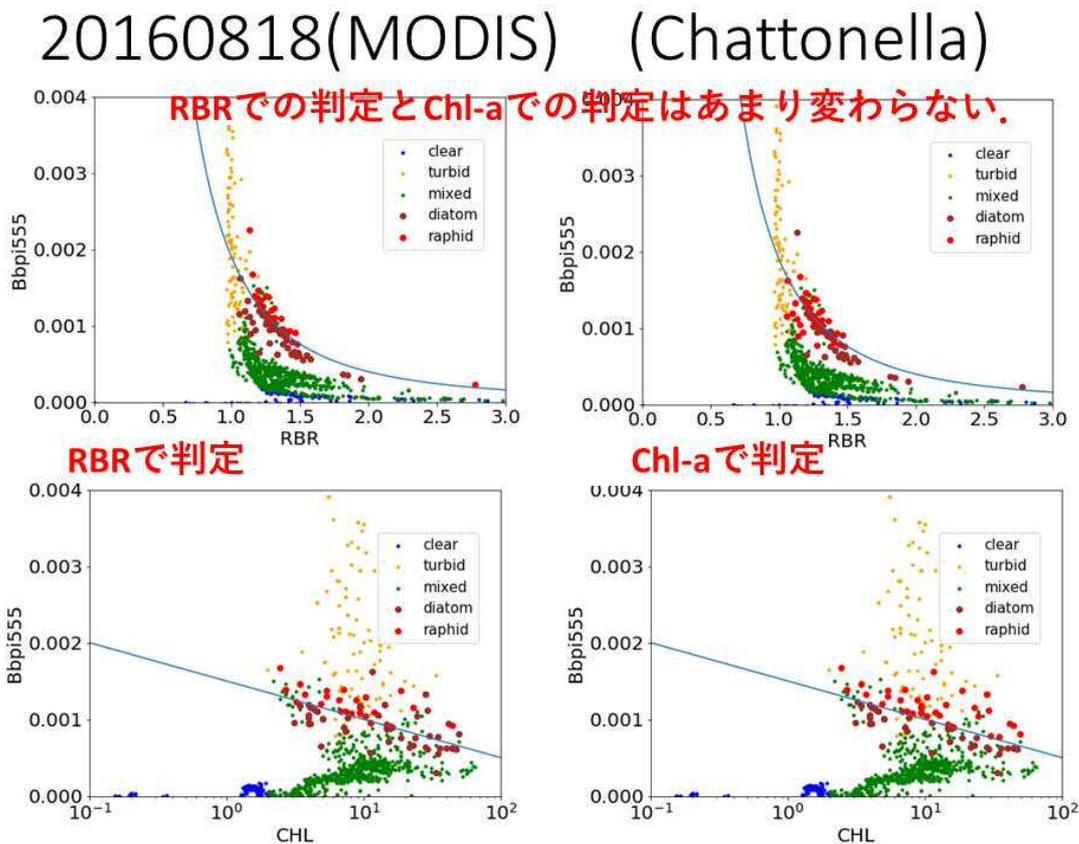


図 4 2016 年 8 月 18 日の MODIS データについて、RBR (上) と Chl (下) を利用して Chattonella spp. と珪藻の判別を行った場合の比較。RBR で判定した場合 (左) と Chl で判定した場合 (右)。

2.6 SGLI の Rrs および CHL の検証

SGLI の Rrs に関して、AERONET-OC の Rrs と比較を行った (図 5)。SGLI のバージョン 1 は、負となる Rrs(380)、Rrs(412)、Rrs(443)が多かった。これは吸収性エアロゾルの存在で、大気補正が完全でないことを示している。現在 JASMES から取得できるバージョン 2 の処理では、Rrs(380)はまだ負であることが多いが、Rrs(412)が負にならないように補正が行われている。また、Rrs(443)はバージョン 1 より補正されているが、AERONET-OC と比較するとまだ過小評価となっている。しかし、本赤潮判別手法で利用する Rrs(490)よりも長波長側のチャンネルは、ほぼ AERONET-OC の値に等しかった。そこで、さらに補正を加えることなく SGLI のデータを利用することとした。

次に CHL の検証を行った (図 6)。バージョン 1 では全体的に過大評価となっていたが、バージョン 2 では過大評価が少し抑えられた。しかし、CHL 10 mg m^{-3} 以上では過小評価となっており、

赤潮検出では注意する必要があると考えられた。

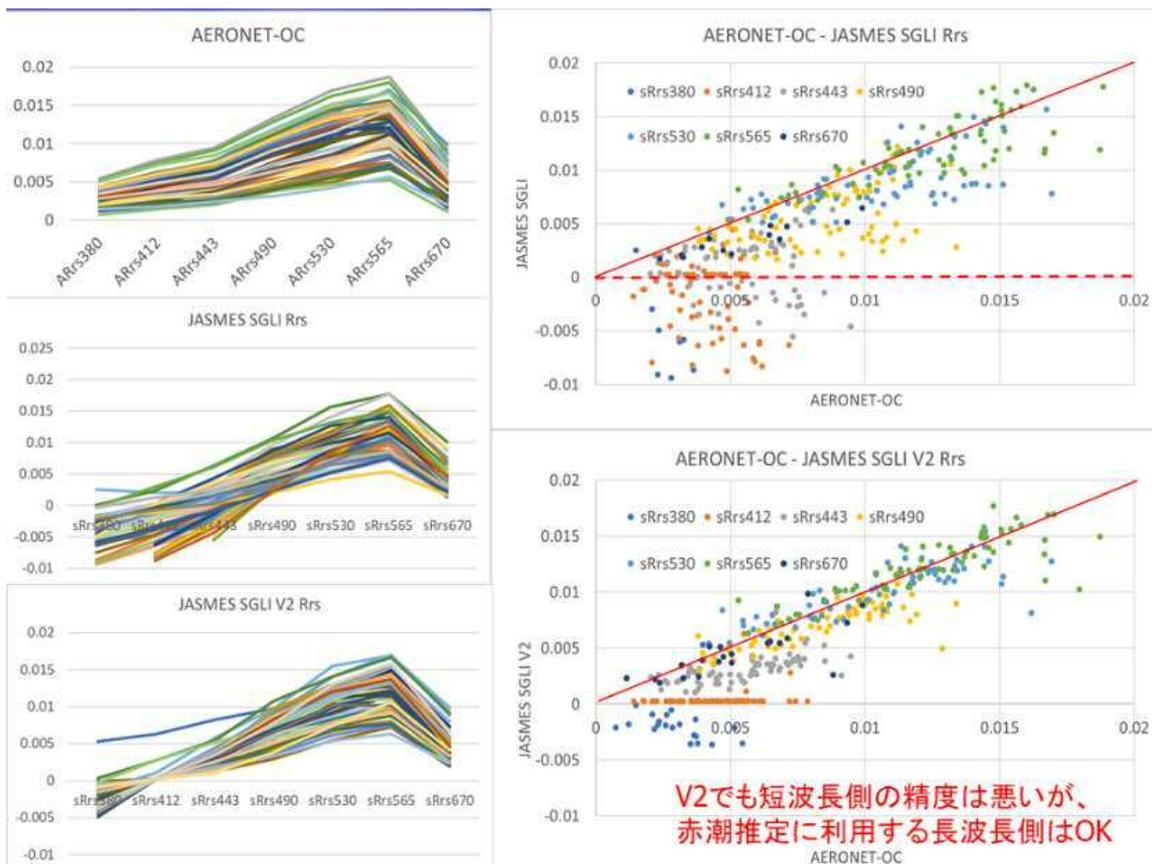


図 5 AERONET-OC (左上) および SGLI (バージョン 1 : 左中、バージョン 2 : 左下) で測定した Rrs スペクトルと、その散布図 (バージョン 1 : 右上、バージョン 2 : 右下)。散布図の直線は 1 : 1。

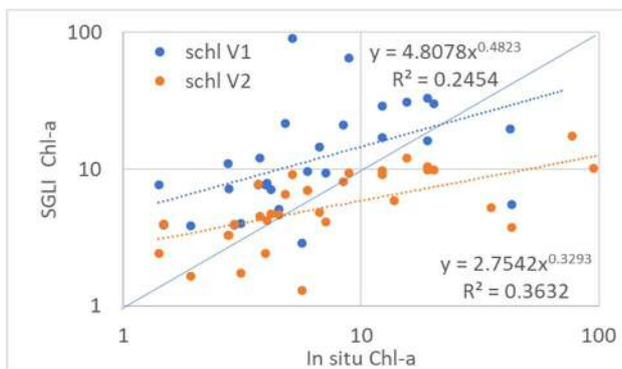


図 6 SGLI と現場の CHL の比較。青色はバージョン 1， 橙色はバージョン 2。

2.7 2018 年夏季の Chattonella 赤潮と珪藻赤潮の変遷

本プロジェクトで開発した MODIS と GOCI (図 7)、SGLI (図 8) それぞれでの 2018 年 7・8 月の Chattonella 赤潮と珪藻赤潮の分布を計算した。現場調査によって、7 月前半には珪藻赤潮、7 月後半から 8 月前半にかけて Chattonella 赤潮が起きていたことがわかっている。

MODIS では、7 月 10 日から 30 日の間で 10・14・27 日で比較的雲が少ないデータが存在した。10 日には多くの海域で珪藻赤潮、熊本沖など一部で Chattonella 赤潮と判別された。14 日には諫早沖で珪藻赤潮、佐賀沖の一部で Chattonella 赤潮と判別され、27 日は鹿島沖で Chattonella 赤潮と判別された。一方、静止衛星である GOCI では、1 日に昼間の 4 回分の観測データを複合して使用しているため、MODIS と比較するとずっとデータの取得率が高く、10・12・14・16・18・20・25・26・27・30 日のいずれもかなり広い範囲でのデータが取得できている。現場で Skeletonema 赤潮

が観測されている 12 日から 16 日にかけて、一部で *Chattonella* 赤潮と判別されているが、広い海域で *Skeletonema* 赤潮と判別されている。一方、現場で *Chattonella* 赤潮が観測されている 25 日から 27 日にかけては、諫早・佐賀沖の多くの海域が *Chattonella* 赤潮と判別されており、現場と衛星の対応は良い。

SGLI に関しては、現場で *Chattonella* が少ない 17・19 日は衛星でも珪藻赤潮しか観測されず、増加してきた 20・23・24 日では諫早湾から大牟田沖にかけて *Chattonella* が観測された。また、8 月は *Chattonella* が多く観測された 4・5・7・8 日には、SGLI で *Chattonella* 赤潮が多く判別され、現場でやや減少した 19・20・27 日には SGLI では *Chattonella* 赤潮が判別されなかった。

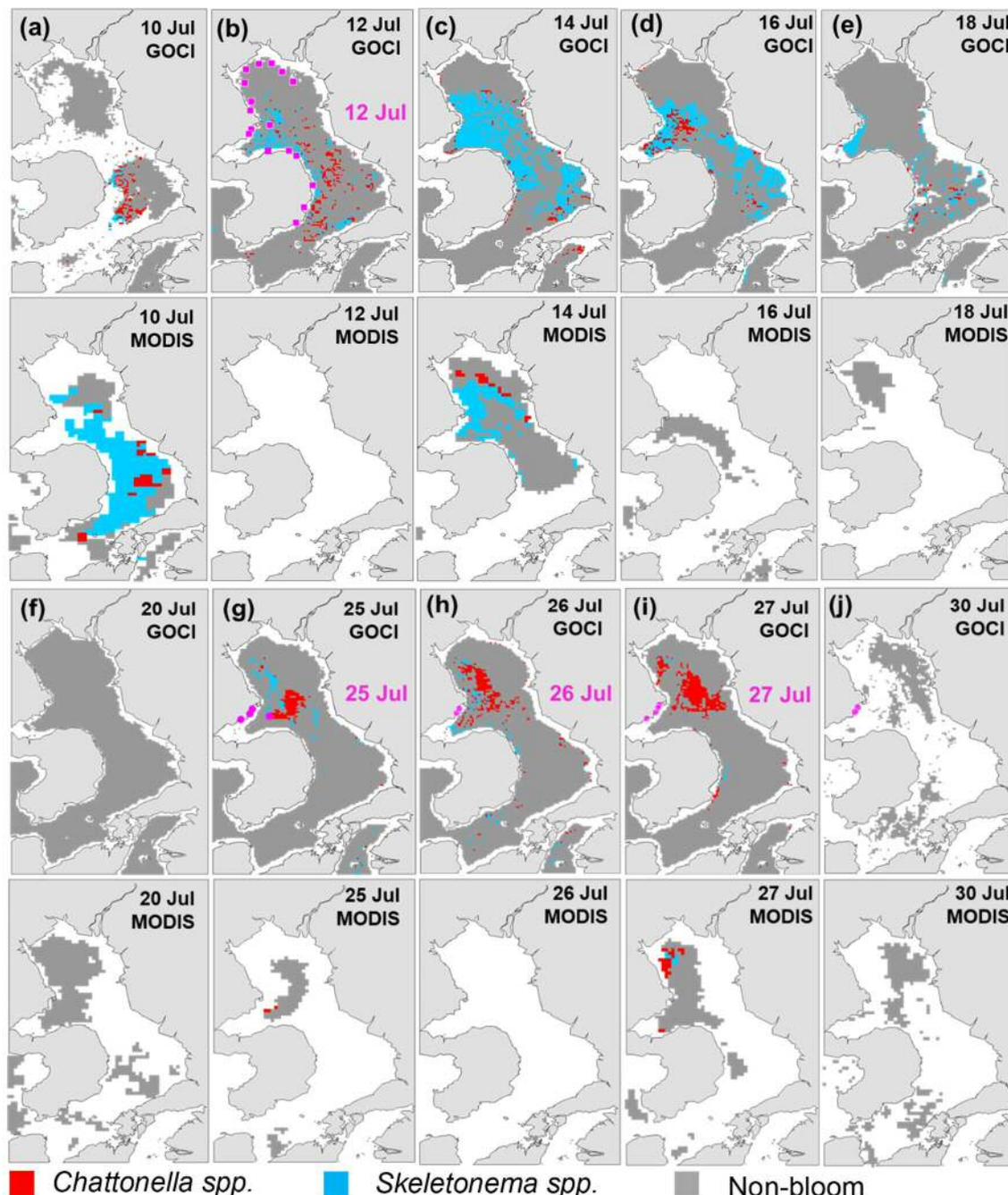


図 7 GOCI と MODIS データから得られた 2018 年 7 月の *Chattonella* 赤潮 (赤)、*Skeletonema* 赤潮 (青)、赤潮でない海域 (灰色)。7 月 12 日 (*Skeletonema* spp.) と 25-27・30 日 (*Chattonella* spp.) のピンク色の点で赤潮の観測が行われている。白色はデータの無い海域。

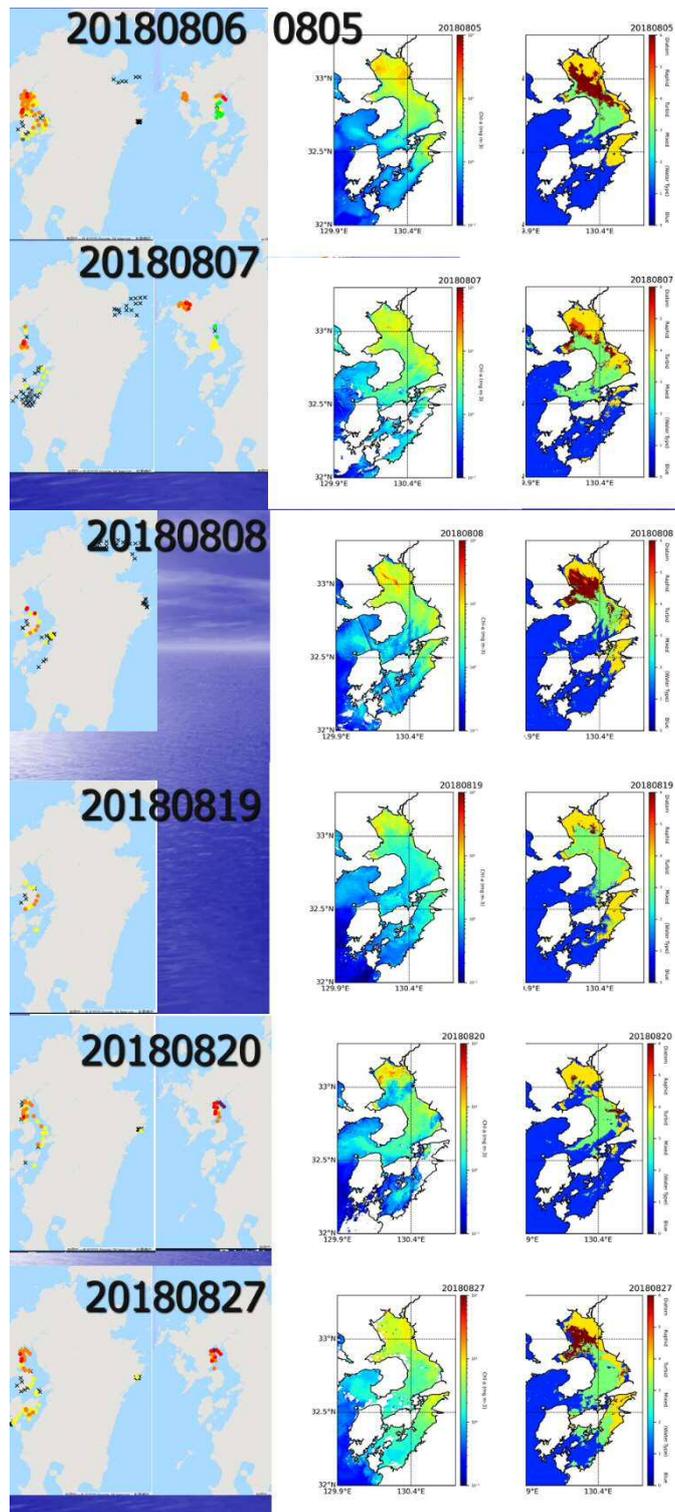


図 8 2018 年 7 月 17・19・20・23・24 日、8 月 4・5・6・7・8・19・20・27 日の赤潮ネット情報 (左)、SGLI の CHL (中)、SGLI で判別した海域区分 (右)。海域区分はきれいな水とデータの無い海域 (青)、濁った水 (黄)、赤潮ほど植物プランクトンの多くない海域 (緑)、珪藻赤潮 (茶)、Chattonella 赤潮 (赤)

2.8 考察とまとめ

ここでは現場の赤潮情報を衛星センサーMODIS の Rrs データと比較することによって、光の散乱の指数とクロロフィル蛍光を用いた現存量の指数を用いて、有明海夏季に発生する Chattonella 赤潮と珪藻赤潮を判別する手法を開発した。また、この手法を韓国に静止衛星センサーGOCIおよび、日本の衛星しきさいに搭載されている SGLI にも適応できるように改良した。SGLI にはクロロフィル

蛍光チャンネルがないために、現存量の指標としてクロロフィル a 濃度を利用した。MODIS, GOCI, SGLI いずれの衛星においても、2018 年 7 月中旬の珪藻赤潮から、7 月後半から 8 月前半にかけての *Chattonella* 赤潮への遷移に関して、その大まかな傾向を判別することが可能であった。

しかし、2019 年、2020 年度にほとんど *Chattonella* 赤潮が起こらなかったこともあり、その検証は充分とは言えない。赤潮ネットのデータに関しては、数値データになっていないこともあり、直接的な比較ができていない。画像からすると大まかな時間変化は再現できていたにしても、個別の測点での定量的な再現性はあまりよくないと考えられる。また、2020 年 7 月 30 日の熊本大水害時には、濁水を *Chattonella* 赤潮と誤判定したことが確認されている。

今回の赤潮種判別手法開発のためには、実際の赤潮現場での光学観測データは取得できておらず、主に衛星データから経験的に係数を決定している。そのために、さまざまな条件下で起こる Rrs 値の変動や衛星データの誤差に関して、充分対応できるモデルになっていない可能性がある。今後、より正確な手法を開発するには、赤潮ネットの数値データを利用するなど現場の赤潮データを増やし、さらにできれば赤潮の光学データを現場で測定することが望ましい。また SGLI の高解像度データは素晴らしいが、さらに精度を向上することが望ましい。一方で、今回利用した韓国の静止衛星の GOCI の高頻度なデータも魅力的であった。日本の静止衛星ひまわり 7 号では海色が測定できるようになっているが、沿岸では精度・解像度の点で利用が限られるため、今後日本としても高精度・高解像度で海色の測定できる静止衛星を整備していくことも期待される。