

## 漁場環境改善推進事業（抜粋）

### II 画像解析課題

増養殖環境課 上村 海斗

#### 1 背景・目的

西日本海域では有害赤潮プランクトンによる漁業被害が頻発しており、その規模が十数億円に達する場合もある。このような被害を未然防止あるいは軽減するためには、赤潮発生の動向を詳細に理解する必要がある。この際、赤潮監視体制におけるモニタリングの省力化及び高解像度化は極めて重要な要件となっている。本研究課題では、近年開発が急速に進んでいる画像解析技術を導入し、有害赤潮プランクトンの画像情報に基づく新規モニタリング技術の開発を行う。具体的には室内実験や赤潮頻発海域での調査をとおして、有害赤潮プランクトンの画像情報を各種環境・生物学的パラメータとともに蓄積する。これにより、得られた画像情報から特定赤潮プランクトンの判別及び挙動に関する情報解析技術の高度化を図る。

なお、本事業は水産庁からの委託事業であり、その成果については別途報告しているため(上村ら 2025)、本稿ではその内容を一部抜粋して記載する。

#### 2 方法

##### (1) 有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積

高知県中央部に位置する浦ノ内湾を対象海域として(図1)、5~9月に有害、無害を問わず赤潮が発生している際に、プランクトンの画像を取得した。画像は、現場で採水した海水(以下「海水試料」という。)を計数板に載せて生物顕微鏡(ECLIPS Ni、Nikon)及び画像撮影装置(Ds-Fi2、Nikon)を用いて撮影した。海水試料は、終濃度0.01%のグルタールアルデヒドで固定してから撮影した。対物レンズを10倍、カメラをオートモード及び自動ホワイトバランスに設定し、画像は1280×960 dpi、拡張子jpgで保存した。

##### (2) 赤潮プランクトン画像解析技術の高度化

画像データの解析は、国立大学法人熊本大学で実施された。本課題では、深層学習の物体検出手法として広く用いられている You Only Look Once(YOLO) (Redmon et al. 2016) を用いて、赤潮プランクトンの *Karenia mikimotoi* や *Chattonella* 属等の物体検出を試みた。YOLOには複数のモデルが存在するが、本課題では YOLOv5 を使用した。

YOLOv5の学習では、教師データとして画像データとその正解ラベル付されたデータが必要である。正解ラベル付は画像データに写った検知対象の領域の中心座標及び高さや幅、そしてラベル付されたクラスの情報である。本課題では、目視によるプランクトン形態分類に基づき、アノテーションツールLabelImgを用いてYOLOv5の対象物体の位置情報及びクラスを作成した。アノテーションされた画像の例を図2に示す。また、画像データセットは表1に示す10のクラスに分類した。

学習に際してのハイパーパラメータの設定は、epoch数を1,000 epoch、学習の早期終了を行うearly stoppingを100 epochに設定した。また、バッチサイズは16、学習率は0.01とした。

さらに、転移学習として事前学習済みの YOLOv5s モデルを使用し、学習を行った。学習終了時点では、early stopping により 910epoch で学習が早期に終了しており、また 810epoch 時点のモデルが mAP (mean Average Precision) が最も高いモデルとなった。

なお、信頼度スコアの閾値は 0.25 で設定した。

### （3）メタボローム解析

当該解析は *K. mikimotoi* を対象として、R4 年及び R5 年の赤潮 (1,000 cells/mL 以上) が発生している期間中に週 1 回程度の頻度でサンプリング（図 3 赤矢印）を行った。KU1 及び KU3 の 2 定点において、測器 (AAQ-RINKO、JFE アドバンテック) のクロロフィル蛍光値が最大となる層で採水した。採取した海水試料のうち、1 mL は検鏡による細胞数の計数に供し、300~500 mL は 150  $\mu$ m のプランクトンネットで一次濾過、3  $\mu$ m メンブレンフィルターを用いて二次濾過を行った。二次濾過は、吸引ポンプを用いて圧力が 0.02 mpa 以下となるように調整しながら実施した。濾過後のフィルターは、ジルコニアビーズと共にマイクロチューブに入れ、チューブ内にメタノール及びリビトールを加えた後に激しく攪拌した。攪拌後のサンプルは、-30°C 以下で保存した。

分析は、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所で実施された。当該研究所では、有害有毒藻類である *K. mikimotoi* 細胞の生理状態別に代謝物変動を調べ、終息間近（定常期後期）に特異的に増加する指標（細胞内グルコース/グリシン比、以下、GG 比）を見出している (Hano and Tomaru 2023)。この指標を用い、終息の約 1 週間前を事前に予測する手法の開発を目指し、現場への適用に向けた検討を行った。

メタノール中に溶出した代謝物は既報 (Hano and Tomaru 2023) に準じて前処理を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて細胞内グルコース、グリシン濃度を測定し、GG 比を算出した。また同時に測定されていた植物プランクトンデータについては、*K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. の合計細胞密度が 1,000 cells/mL を超過した状態を「赤潮」、赤潮形成後 1,000 cells/mL を下回った状態を「終息」とした。

なお、本年度は R4 年に取得したサンプルの分析を実施し、R5 年分については次年度に実施することとした。

## 3 結果及び考察

### （1）有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積

本年は、6~7 月に合計 163 枚のプランクトン画像を撮影した。撮影した画像内の優占種は *K. mikimotoi*、*Chattonella* spp.、*Ceratium furca*、*Dictyocha fibula* の 4 種と珪藻類であった。このうち、「*K. mikimotoi*、*Ceratium furca* 及び *Dictyocha fibula*」及び「*K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.」は同時期に出現していた。この様な複数の優占プランクトンが同時に存在する群集写真を蓄積することは、画像解析による種判別の精度を向上させる上で重要であると考えられた。

### （2）赤潮プランクトン画像解析技術の高度化

YOLO の学習で作成されたベストモデルからテスト画像を用いて検出した結果について述べ

る。表2にそれぞれのクラスの正解ラベル付された個体数、適合率、再現率、mAP50の結果を示す。赤潮プランクトンである *K. mikimotoi* は適合率が 79.0%、再現率が 76.1%、mAP が 81.9% であった(表2)。同じく赤潮プランクトンである *Chattonella* 属については、適合率が 89.2%、再現率が 81.5% そして mAP50 が 88.7% であり、各クラスの中で最も良い精度が得られた。しかし、*Thalassiosira* 属から Others までのクラスについては、適合率、再現率、mAP50 がすべて 0 であった。これは、学習時点において、表1に示す各クラスの個体数が *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属と比較して十分でなかったことが原因であると考えられる。

図4及び図5は、赤潮プランクトンの検出実験例である。図4は画像中の多くが *K. mikimotoi* であるため、一部で *K. mikimotoi* の検知漏れや *Dinophysis* 属を *K. mikimotoi* と誤分類する事例が見受けられるものの、比較的良好な結果と判断できる事例である。一方で、図5は、画像中のプランクトンの多くが *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属以外であるため、検知漏れ、過剰検知が頻発しており、良好な結果ではないと判断できる事例である。

以上のように、本課題では、物体検出アルゴリズムの YOLO を用いて、赤潮プランクトンの検出精度を検証した。転移学習や画像データに対するデータ拡張を適用して学習を行った結果、*K. mikimotoi* や *Chattonella* 属については、適合率、再現率、mAP において約 8割の検出精度が得られた。しかし、*Dinophysis* 属等、*K. mikimotoi*、*Chattonella* 属以外の赤潮プランクトンについては、十分な検出精度は得られなかった。

精度向上のアプローチとして、まずは学習データの数の少なさへの対処が挙げられる。本課題ではデータ拡張を行ったが、クラスによっては個体数が 2~4 個とデータの不均衡が目立つため、新たな教師データの作成が必要である。また、現在の画像データでは背景色のバランスが画像によって異なり、検出精度に影響を及ぼしている可能性があるため、この点に関する検討も予定している。さらに、本課題では物体検出に YOLOv5 を用いたが、同アルゴリズムは現在も改良が続いている YOLOv8 まで開発されている。これにより高精度な検出が可能と考えられ、物体検出手法の検討をさらに行っていく予定である。

### (3) メタボローム解析

簡易化した回収方法の過程を図3に示す。これにより作業時間は 1/3 (3 分→1 分) に、作業要員は 2 人→1 人となり、作業の簡易化が実現した(図3赤矢印)。また、R5 年度解析用サンプルの取得及び保存を予定通り行う事ができ、今後、慎重かつ精密な解析を進めるための基盤作りに成功した。

本年度は、過年度(R4 年度)に収集したサンプル計 50 回分 (KU1\_22 回、KU3\_28 回) を解析した。その結果、赤潮状態は計 19 回 (KU1\_7 回、KU3\_12 回) であった。細胞数の推移と GG 比を図6に示す。赤潮状態にある細胞群の GG 比は 0.025~15 まで幅広い値を示した。図7では、図6にさらに 1 週間後に赤潮状態が解消された日を Yes、維持された日を No とした。ROC 曲線 (Receiver Operate Characteristic) により GG 比の閾値を算出した結果、Yes、No を最もよく予測できた GG 比の閾値が 0.41 として算出され、診断正確率は 68% であった。これは、「GG 比が 0.41 以下ならば 1 週間後には終息しない」「0.41 以上ならば 1 週間後には終息する」と正確に診断できる確率が 68% であることを意味する。不正解の事例は赤潮が減衰を繰り返した 6 月から 7 月上旬に集中した(図7)。一方で、7 月中旬以降の診断率は 85% (7 回中 6 回的中) であり、一般に赤潮が形成される 5~8 月の中で赤潮形成期後半に診断率が向上することが明ら

かとなった。

## 引用文献

Hano T, Tomaru Y. Chronological age-related metabolome responses in the dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, can predict future bloom demise. *Communications Biology* 2023; **6**(1): 273.

上村海斗・戸田真志・河野友香・山口晴生・羽野健志・坂本節子・外丸裕司. 3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証及び普及並びにデータ利活用の促進 ア. 有害赤潮プランクトンの画像情報に基づくモニタリング技術の開発. 令和5年度豊かな漁場環境改善推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩類対策推進事業「(1) 赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化」報告書・水産庁・東京. 2025 ; 276-283.

Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* 2016; **22**(5): 683-688.

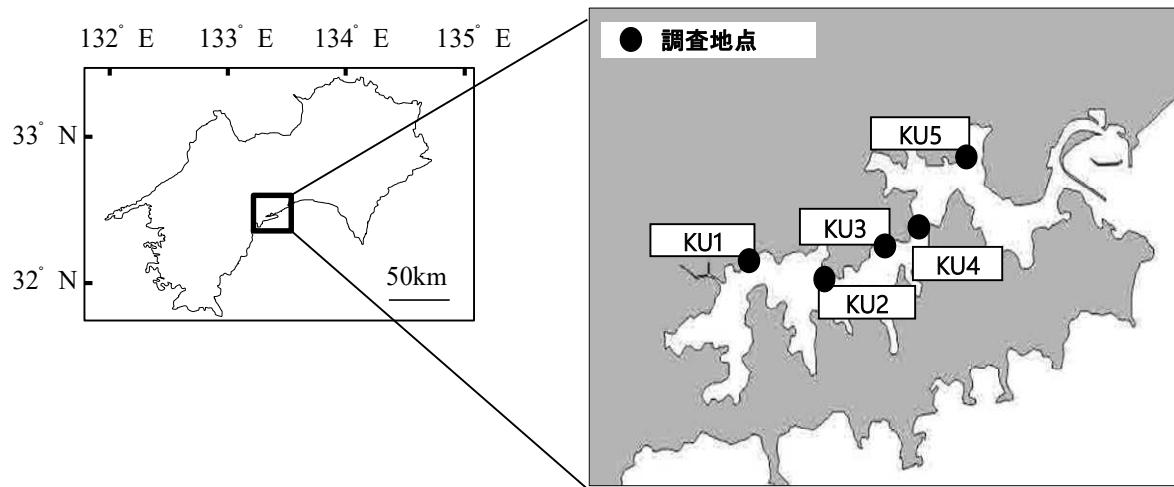


図1 調査定点（高知県浦ノ内湾）

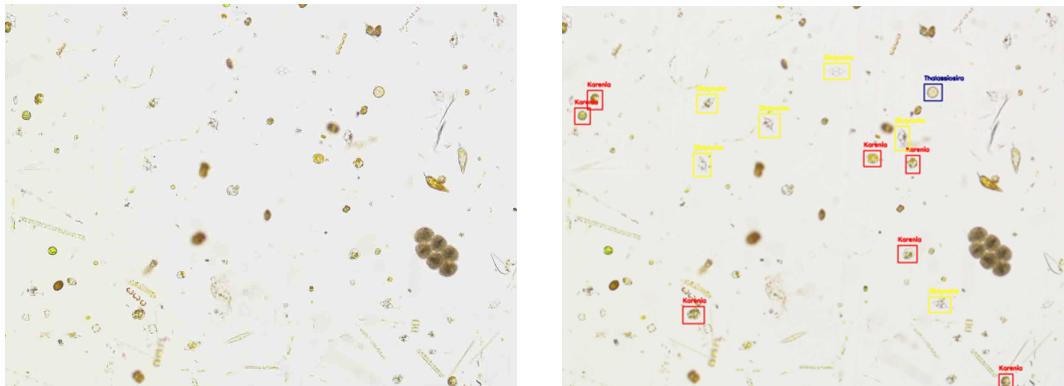


図2 アノテーション例（左：元画像、右：アノテーション付与後）

表1 学習データにおける各クラスの個体数

クラス	個体数
0 <i>Karenia mikimotoi</i>	706
1 <i>Chattonella</i> 属	220
2 <i>Prorocentrum</i> 属	44
3 <i>Thalassiosira</i> 属	4
4 <i>Dictyocha</i> 属	23
5 <i>Dinophysis</i> 属	2
6 <i>Ebria</i> 属	12
7 <i>Heterocapsa</i> 属	2
8 <i>Takayama</i> 属	4
9 Others	13

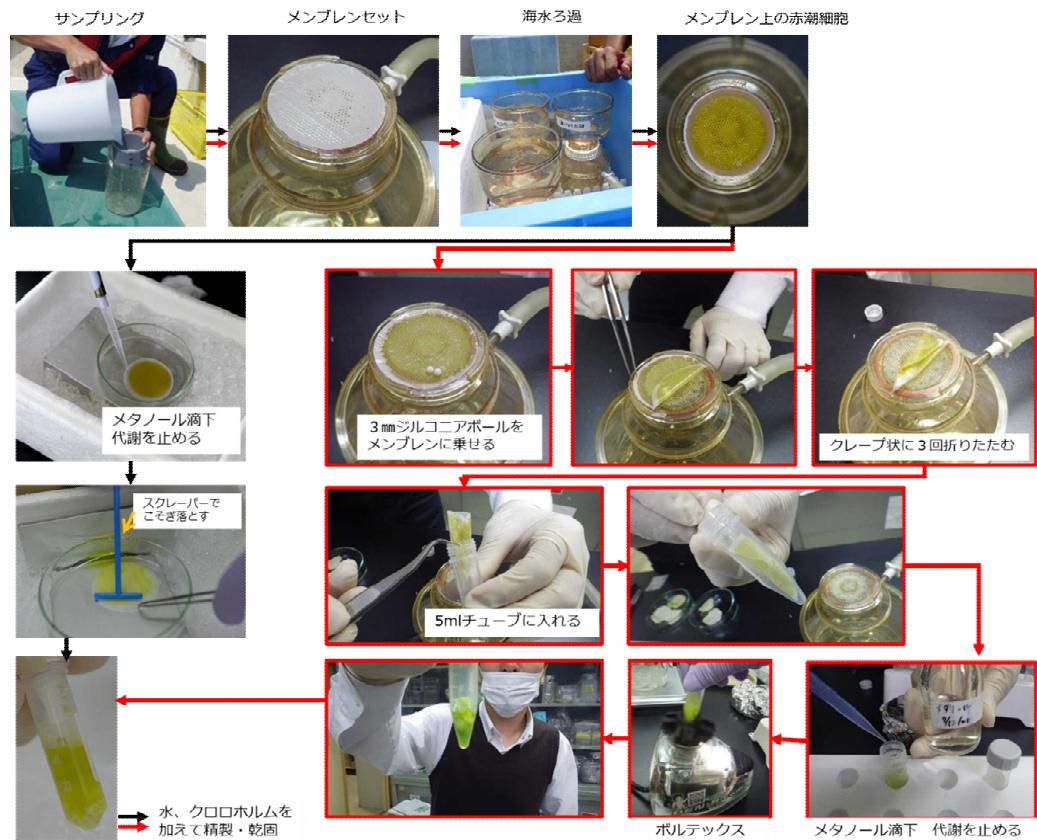


図 3 サンプル回収工程（改良前；黒矢印、改良後；赤矢印）

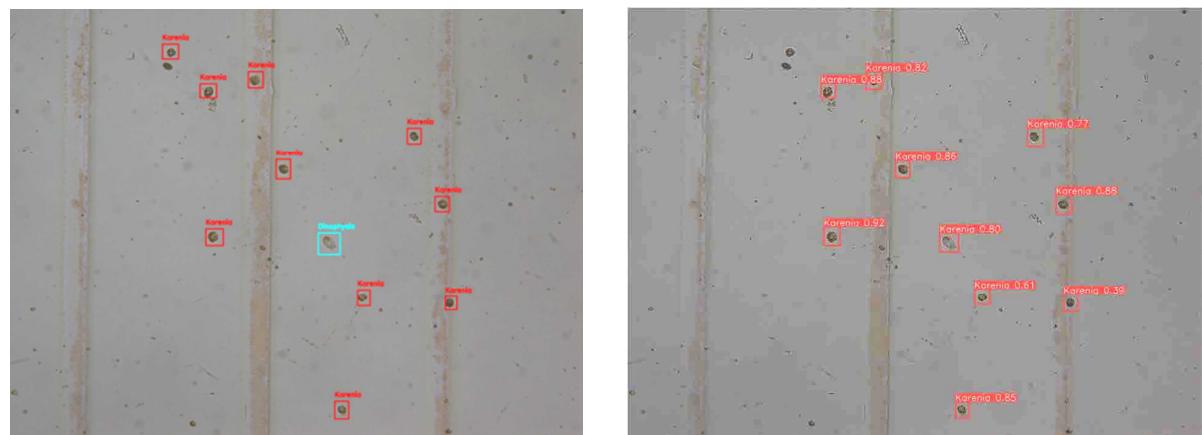
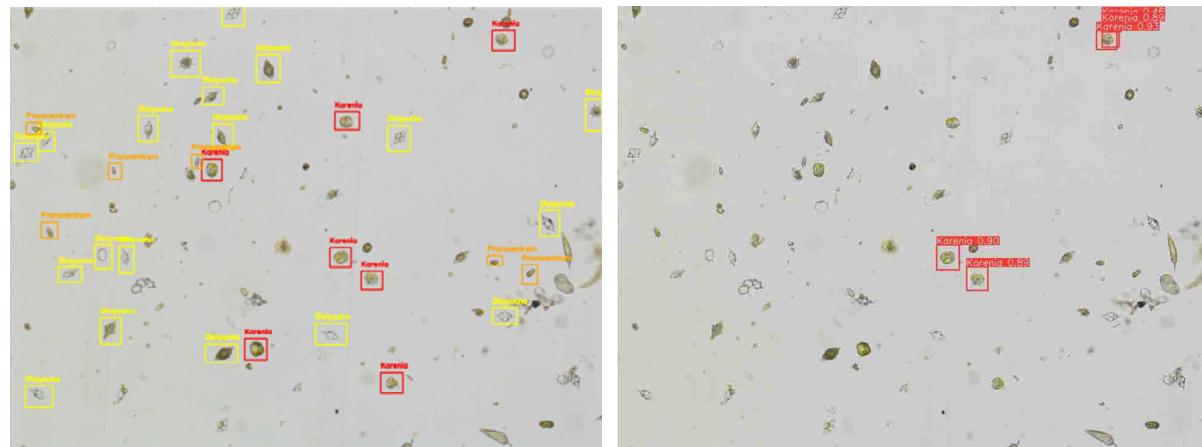


図 4 検出実験例（赤：*Karenia mikimotoi*、水色：*Dinophysis* 属）

表 2 各クラスの検出結果

クラス	個体数	適合率	再現率	mAP50
all	264	0.233	0.187	0.216
<i>Karenia mikimotoi</i>	109	0.790	0.761	0.819
<i>Chattonella</i> 属	81	0.892	0.815	0.887
<i>Prorocentrum</i> 属	45	0.650	0.289	0.453
<i>Thalassiosira</i> 属	1	0	0	0
<i>Dictyocha</i> 属	20	0	0	0
<i>Dinophysis</i> 属	1	0	0	0
<i>Ebria</i> 属	1	0	0	0
<i>Heterocapsa</i> 属	1	0	0	0
<i>Takayama</i> 属	1	0	0	0
Others	4	0	0	0

図5 検出実験例2(赤: *Karenia mikimotoi*、黄色: *Dinophysis* 属、オレンジ: *Prorocentrum* 属)

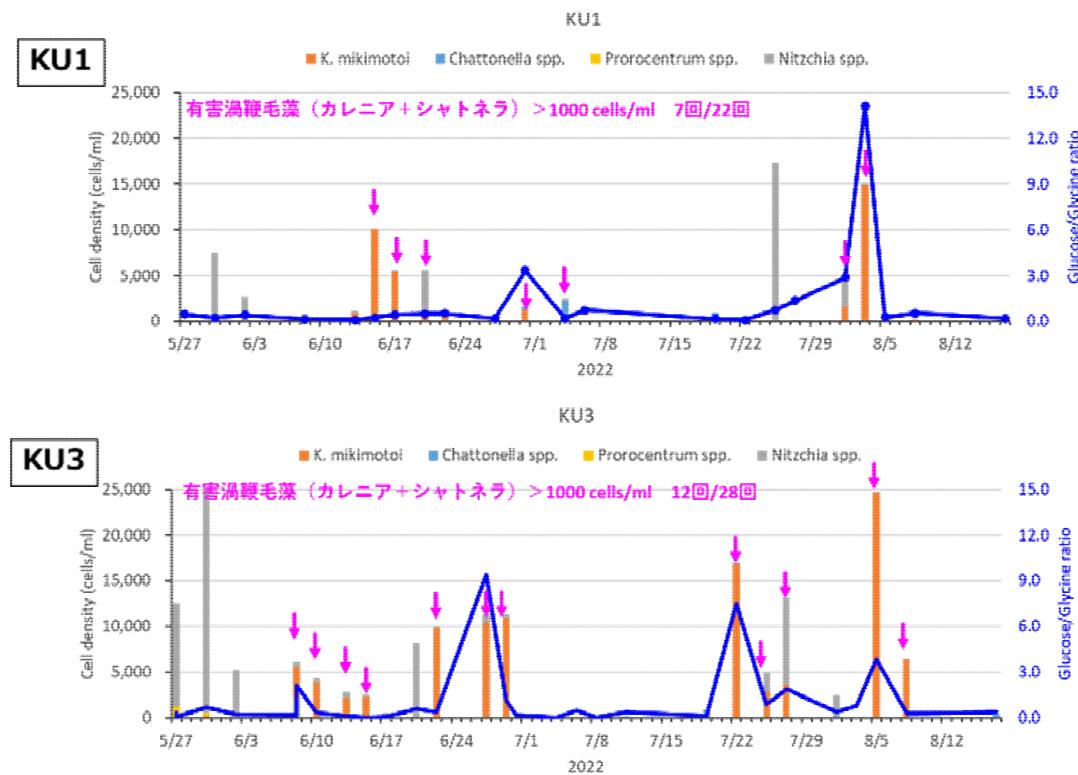


図 6 細胞数の推移と GG 比の推移  
(ピンク矢印: 赤潮状態、細胞数; 棒グラフ、左 Y 軸、GG 比; 折れ線グラフ、右 Y 軸)

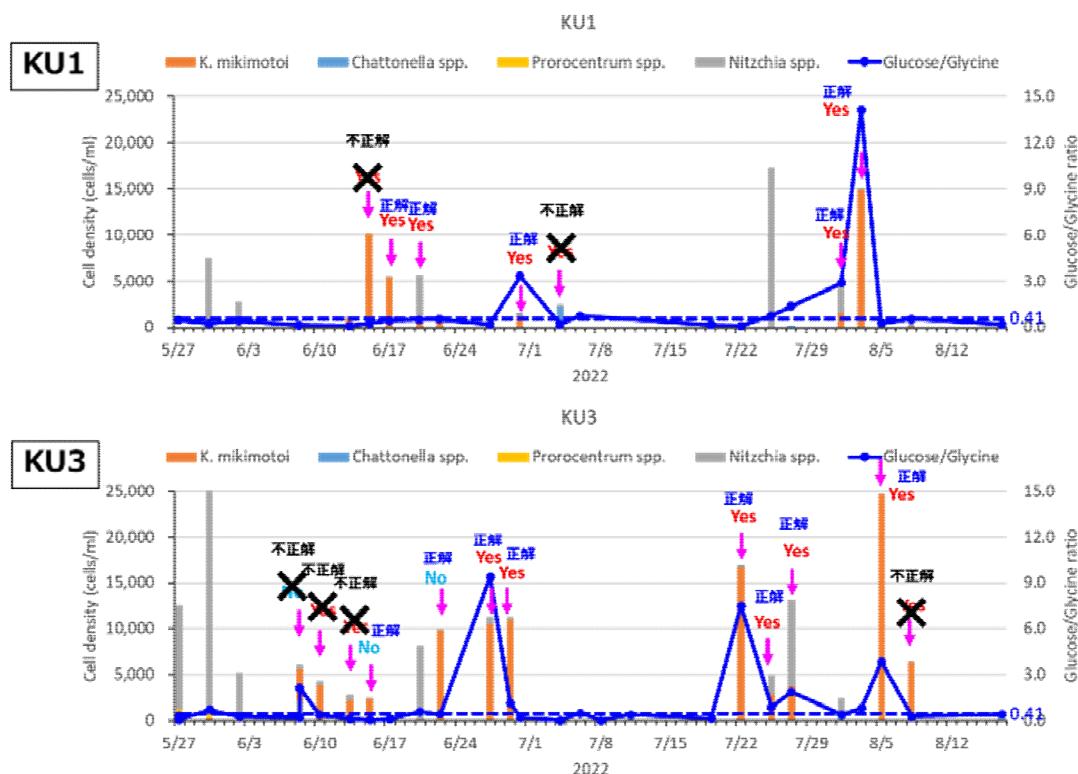


図 7 細胞数の推移と GG 比の推移  
(Yes: 1週間後に終息、No: 1週間後に終息しない、正解: 閾値によって診断した結果正解のもの、不正解: 閾値によって診断した結果不正解のもの)