

有害ラフィド藻 *Chattonella* 属と *Heterosigma akashiwo* の
 季節的優占種交代機序に関する考察
 The mechanism of seasonal dominant species between harmful raphidophytes
Chattonella and *Heterosigma akashiwo*

○篠原健吾* 伊藤祐二** 奥西将之*** 前田広人*** 梶井和朗**
 Kengo SHINOHARA*, Yuji ITO**, Suguru OKUNISHI***, Hiroto MAEDA***, and Kazuro MOMII**

1. はじめに

西日本沿岸水域では、水温 20°C 前後の春季に *Heterosigma akashiwo*、夏季を中心に *Chattonella marina* や *Chattonella antiqua* などの *Chattonella* 属のラフィド藻が有害な赤潮を形成することがあり、季節間の優占種交代機序は未解明である。本研究では、*Chattonella* 属と *H. akashiwo* の季節的な優占種交代の基礎的知見を得ることを目的とする。*C. marina* と *H. akashiwo* を対象に室内培養実験と数値解析を行い、その結果に基づいて両種の優占機序を検討した。

2. 方法

C. marina と *H. akashiwo* の個体数（細胞密度）をそれぞれ N_c と N_h とすると、両種の競合モデルは次式¹⁾で表される。

$$dN_c/dt = r_c N_c [1 - (N_c + \alpha_h N_h) / K_c] \quad (1) \quad dN_h/dt = r_h N_h [1 - (\alpha_c N_c + N_h) / K_h] \quad (2)$$

ここで r は増殖率、 K は環境収容力、 α は競争係数、 t は時間であり、添え字の c と h は *Chattonella* 属と *H. akashiwo* をそれぞれ示す。 α_h は *H. akashiwo* が *Chattonella* 属の増殖を抑制する程度を表し、 α_c はその逆を表す。上式の解法に Runge-Kutta 法を適用し、各細胞密度の数値解を求めた。ただし $\alpha_h = \alpha_c = 0$ のとき、競合相手への抑制は無効となり、両式は単独の増殖モデルを表すため、単独モデルでは解析解を得た。 r 、 K 、 α の決定のため、15、20、25°C の条件下で両種の単独・混合培養を行い、検鏡によって計数した細胞密度にモデル推定値をフィッティングした。その他の培養条件は DIN = 2,404 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 、DIP = 120 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 、塩分 28、光量子量 49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。培養株には無菌株の錦江湾産 *C. marina* (NIES-115) と鹿児島近海産 *H. akashiwo* (NIES-145) を用いた。

3. 結果と考察

培養実験値とのフィッティングによって得たモデルパラメータを温度別に比較し、さらに他水域における既往の文献値とも比較した (Fig. 1)。決定した r は文献値^{2), 4)}を過小評価し、 K は過大評価する傾向があった。この一因には、本研究で光強度が弱かったこと、および栄養塩濃度が比較的高かったことが影響したと考える。

春季を想定した水温 15~20°C では両種とも r が低下し、明確な差は確認できなかったが、その低下量は若干 r_c のほうが大きかった (Fig. 1(a), (b))。一方で K の比較では K_c は大きく低下したのに対し、 K_h はほとんど低下しなかった。このことから *C. marina* は *H. akashiwo* よりも低温で増殖が抑制されると考える。一方で α の比較では水温 20°C で *C. marina* が *H. akashiwo* の 24 倍高い値を示した (Fig. 1(c))。このことは春季に *C. marina* が *H. akashiwo* よりも競合過程において優位であることを意味している。しかし冒頭で述べたように春季に *C. marina* が赤潮を形

*農研機構 NARO, **鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima Uni., ***鹿児島大学水産学部 Faculty of Fisheries, Kagoshima Uni.

キーワード: 赤潮, 競合モデル, 沿岸環境, 藻類, 数値解析

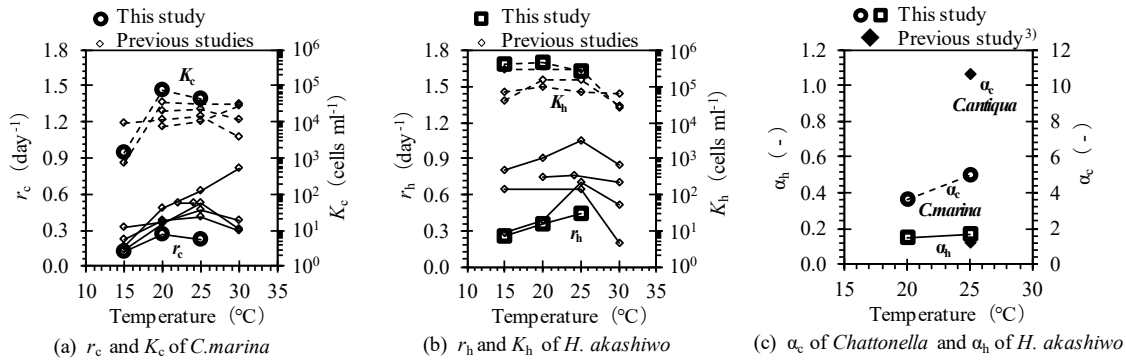


Fig. 1 15, 20, 25°Cにおける*Chattonella*と*H. akashiwo*の増殖率 r , 環境収容力 K , 競争係数 α
Growth rate r , carrying capacity K , competition coefficient α of *Chattonella* and *H. akashiwo* at 15, 20, and 25 °C

成することはほとんどない。既往の研究²⁾によると、*H. akashiwo*のシストからの発芽の最適温度は*C. marina*よりも低い。そのため春季には発芽の早い*H. akashiwo*が*C. marina*よりも多く存在し、高い増殖率と環境収容力により優占することができると考える。

夏季を想定した25°Cでは、*C. marina*の α が20°Cに比べて増大傾向を示し(Fig. 1(c))その優位性が認められたが、特に r については*H. akashiwo*のほうが増大傾向にある(Fig. 1(b))。決定したパラメータを用いた数値解析結果によると、*H. akashiwo*は生残り、*C. marina*の明確な優位性は確認できなかった。この結果に関し、種は異なるものの*C. antiqua*を使用したQiuら³⁾の同様の数値解析では、*H. akashiwo*が死滅し*C. antiqua*が生残する結果が得られて

おり、本研究結果と異なる。そこで、本研究とQiuらの結果の違いを明らかにするために、Qiuらが得た r , K , α を本研究の値と入れ替え、各パラメータが結果に及ぼす影響を調べた。その結果、本研究の解析条件に*C. antiqua*の競争係数 α_c を用いた場合に*H. akashiwo*は死滅し(Fig. 2)、*Chattonella*属の優位性が確認された。*C. antiqua*の α_c は*C. marina*の α_c よりも2.1倍大きく(Fig. 1(c))、これによって*C. antiqua*の優位性は説明される。つまり、*C. marina*と*C. antiqua*の α_c の違いは両種の特性的違いを示している可能性があり、前者は後者よりも競合過程において劣勢であり夏季に赤潮を形成しにくいことを示唆する。実際に、諫早湾²⁾と大阪湾⁴⁾、有明海⁵⁾の夏季の*Chattonella*属による赤潮発生率は*C. antiqua*でそれぞれ68.8, 55.6, 57.7%であったのに対し、*C. marina*による発生率はそれぞれ25.0, 22.2, 19.2%と低い値を示した。ちなみに*C. antiqua*が存在しない鹿児島湾では*C. marina*の発生率が35.3%であった。以上より、*C. marina*は*C. antiqua*に比べて夏季に赤潮を形成しにくく、本研究における*H. akashiwo*との競合過程解析でもその優位性は明確ではなかったものの、*Chattonella*属においては、夏季に高い競争係数、すなわち栄養塩や光などの高い資源収奪能によって*H. akashiwo*などの他種よりも優勢な状況にあるものと考えられる。

4. おわりに

数値解析により、春季には早期発芽と速い増殖率によって高密度化しやすい*H. akashiwo*が優位であり、夏季では資源収奪に勝る*Chattonella*属が優位である可能性を論じた。今後、実際の赤潮についての数理モデルを確立するために、温度以外の培養条件でも検討する予定である。

参考文献 1) 巖佐(1990): 数理生物学入門, 13-17. 2) 山砥ら(2006): 日本水産学会誌, 72, 160-168. 3) Qiu et al. (2011): *Thalassas*, 27, 33-45. 4) 矢持(1984): 日本プランクトン学会報, 31, 15-22. 5) 松原ら(2011): 日本プランクトン学会報, 58(1), 18-22.

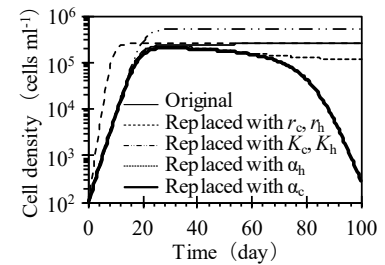


Fig. 2 競合モデルパラメータの違いが*Hakashiwo*の増殖過程に及ぼす影響(各パラメータをQiuらの値³⁾に置き換えた結果)(添字のcは*C. antiqua*を示す)
Effect of the difference of competition model parameters on the growth of *H. akashiwo* (Results by replacing our model parameters with Qiu et al's ones³⁾) (Subscript "c" means *C. antiqua*)