

有害ラフィド藻2種の季節的優占種交代機序に関する考察

The mechanism of seasonal change in dominant species between two harmful raphidophytes

○篠原健吾* 伊藤祐二** 奥西将之*** 前田広人*** 萩井和朗**

○Kengo SHINOHARA*, Yuji ITO**, Suguru OKUNISHI***, Hiroto MAEDA***, and Kazuro MOMII**

1. はじめに

西日本では水温20°C前後の春季に*Heterosigma akashiwo*, 高温の夏季を中心に*Chattonella* 属のラフィド藻が赤潮を形成する. 各水温帯で両種は増殖可能であるが, 両種の季節的な赤潮発生時期の違いには何らかの生態学的特性の変化が関係していると考え. 本研究では, 20°C, NP比 (N/P) 20と62の条件で行った*Chattonella marina*と*H. akashiwo*の培養実験と増殖-競合過程の数値解析により, 両種の競合を考慮した優占種交代機序を考察した.

2. 方法

Chattonella と *H. akashiwo* の個体数 (細胞密度) をそれぞれ x と y とすると, 両種の競合モデルは次式¹⁾で表される.

$$dx/dt = r_x x [1 - (x + ay)/K_x] \quad (1) \quad dy/dt = r_y y [1 - (bx + y)/K_y] \quad (2)$$

ここで r は増殖率, K は環境収容力, t は時間であり, 添字の x と y は *Chattonella* と *H. akashiwo* をそれぞれ示す. a と b は競争係数と呼ばれ, a は *H. akashiwo* が *Chattonella* の増殖を抑制する程度を表し, b 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 $a = b = 0$ 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 , a , b は検鏡による細胞増殖過程の培養実験値にモデル推定値をフィッティングして決定した. その際, r と K は各種の単独培養, a と b は両種の混合培養で得た実験値をそれぞれ用いた. 培養株には無菌株NIES-559: *C. marina* と NIES-6: *H. akashiwo* を用いた. N/P=20と62の実験区では, 光条件は各々49と37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で僅かに異なったが, 他は温度20°C, 塩分30, DIN濃度2,400 μM の同条件で培養した.

3. 結果と考察

実験値とモデル推定値の比較より以下の r , K , a , b を得た (Table 1). N/P=20 では $r_x = 0.26 \text{ day}^{-1}$, $K_x = 48,700 \text{ cells ml}^{-1}$, $b = -5$, $r_y = 0.36 \text{ day}^{-1}$, $K_y = 495,000 \text{ cells ml}^{-1}$, $a = 0.62$, N/P=62 では $r_x = 0.34 \text{ day}^{-1}$, $K_x = 26,600 \text{ cells ml}^{-1}$, $b = 11$, $r_y = 0.62 \text{ day}^{-1}$, $K_y = 268,000 \text{ cells ml}^{-1}$, $a = 0.19$ であった. Qiu et al. (2011)²⁾によれば, 増殖率と環境収容力は *H. akashiwo*, 競争係数は *Chattonella* が比較的大きい (Table 1). 本モデルパラメータは, N/P=20の競争係数を除けば, Qiu et al.と同様の特徴を有した. また推定値は実験値と概ね一致し, 決定したパラメータは *C. marina* と *H. akashiwo* の春季20°Cの増殖-競合特性を表し得る.

モデルによる数値解析により, 春季の赤潮形成における優位性を考察する. N/P=20のモデルで様々な初期細胞密度条件に対する両種の競合具合を調べた結果, 全条件で *H. akashiwo* が生残り, *C. marina* は最終的に死滅した (Fig.1(a)). 一方, N/P=62では生残種が両種の初期密度に依存した (Fig.1(b)). ただし, 初期密度が10 cells ml^{-1} 程度の低密度で *C. marina*

*鹿児島大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kagoshima Uni., **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

が生残するには、その細胞数が少なくとも *H. akashiwo* の数 10 倍を超える必要があった。つまり、赤潮発生時の低密度条件を考えると、*C. marina* が優位に赤潮を形成するには、*H. akashiwo* よりも数 10 倍以上多く存在する必要がある。以上より、春季の赤潮形成においては、*H. akashiwo* は *C. marina* よりも有利な傾向にある。

この *H. akashiwo* の優位性を得られたモデルパラメータ (Table 1) からさらに考察する。N/P= 20 (20°C) では、増殖率、競争に関わる環境収容力と競争係数のすべてで *H. akashiwo* が優位である。N/P= 62 (20°C) では、増殖率と環境収容力では *H. akashiwo* が有利であるが、競争係数では $b \approx 58a$ であり *C. marina* に分がある。以上より、春季の赤潮形成における *H. akashiwo* の優位性は、N/P= 20 では増殖速度と競争力の両方で、N/P= 62 では相手の競争力を凌駕する増殖速度で *C. marina* より優位であることから説明される。

しかし、20°Cより高温では優位性が逆転する可能性が高い。*C. antiqua* と *H. akashiwo* の 25°Cのモデル解析では、どの初期密度条件でも前者が必ず生残り後者は全滅することが報告され²⁾、20°Cの本解析結果と全く異なる。これは、温度上昇に伴い、*H. akashiwo* の競争係数 a が低下し (0.2 倍, 0.6 倍 : Table 1) , *Chattonella* の環境収容力が *H. akashiwo* よりも増大 (前者で 1.4 倍, 2.5 倍, 後方で 1.1 倍, 2.0 倍 : Table 1) することが影響する。したがって、高温の夏季に *Chattonella* が優占し易いのは、環境収容力と競争係数から特徴づけられる競争力が *Chattonella* では増大する一方、*H. akashiwo* では低下する特性変化によると考える。

4. おわりに

本研究では、構築したモデルによる数値解析を行い、春季には *H. akashiwo* の速い増殖速度、高温の夏季には *Chattonella* の強い競争力によって優占種が決定づけられる可能性を示した。結果は、温度や栄養塩濃度などが限定された条件で得られたものである。今後、様々な環境条件および各条件におけるモデル推定値の再現性について検討を重ねる予定である。

Table 1 *Chattonella* と *H. akashiwo* の競合モデルパラメータ
Competition model parameters for *Chattonella* and *H. akashiwo*

Culture condition			Model parameter		
Species	NP ratio (-)	Temp. (°C)	Growth rate (day ⁻¹) (div. day ⁻¹)	Carrying capacity (cells ml ⁻¹)	Competition coefficient (-)
<i>C. marina</i> <i>H. akashiwo</i>	20	20	$r_x = 0.26$ (0.38) $r_y = 0.36$ (0.52)	$K_x = 48,700$ $K_y = 495,000$	$b = -5$ $a = 0.62$
<i>C. marina</i> <i>H. akashiwo</i>	62	20	$r_x = 0.34$ (0.49) $r_y = 0.62$ (0.89)	$K_x = 26,600$ $K_y = 268,000$	$b = 11$ $a = 0.19$
<i>C. antiqua</i> * <i>H. akashiwo</i> *	20	25	$r_x = 0.42$ (0.60) $r_y = 0.90$ (1.30)	$K_x = 66,167$ $K_y = 540,009$	$b = 10.6$ $a = 0.114$

*Cited from Qiu et al. (2011)

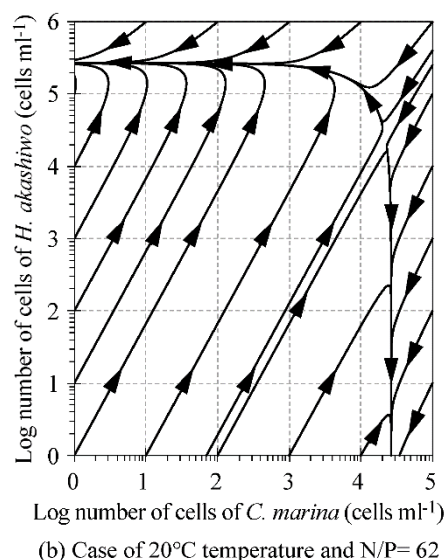
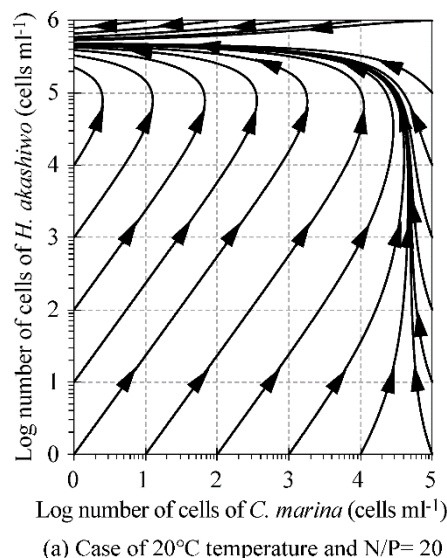


Fig.1 *C. marina* と *H. akashiwo* の競合関係 (各線は、異なる初期細胞密度毎の両種の細胞密度変化を示す)

Competitive relationships between *C. marina* and *H. akashiwo* (Lines show the changes in cell density of both species by various initial densities)