

II - 120

赤潮原因種 *Noctiluca* の増殖特性とそのモデル化

東北大学工学部 学生会員 ○熊谷 真之介
東北大学大学院 正会員 真野 明

1. はじめに

仙台湾から福島にかけての沿岸海域では平均して一年に二回程度赤潮が発生しており、赤潮を形成する種類は *Noctiluca*（夜光虫）が多く、その時期は春から初夏にかけての季節が多い。海底に堆積した *Noctiluca* の大量の死骸は、海底を貧酸素状態にし底生の魚や貝類を斃死させるなどの問題が知られている。

一般に赤潮は、その原因となるプランクトンの異常増殖により引き起こされるものである。プランクトンの増殖には、水温、塩分濃度、日照時間、光の強さ、栄養塩濃度といった環境要因が作用することが知られているが詳しい機構は分かっていない。

本研究では、従属性渦鞭毛藻類である *Noctiluca* の増殖のメカニズムを明らかにするために、植物プランクトンとの捕食・被食関係をモデル化すると共に個体数の変動を予測することを目的とする。

2. *Noctiluca* の生態

Noctiluca は原生動物であり従属性渦鞭毛藻類に属し、世界各地の沿岸や内湾海域に広く分布しており、代表的な発光プランクトンとして知られている。光合成は行わず、他の生物を餌として食べることで栄養を摂取する。細胞の直径は約 150~2000 μm で、単細胞生物としてはかなりの大きさがある。細かい溝と紐状の鞭毛、触手を持ち、この触手を使って餌を捕らえている。*Noctiluca* は珪藻・渦鞭毛藻などの植物プランクトン、原生動物やデトリタスなどといった様々な生物を食べる。

生殖方法には二分裂によって無性的に増殖するほかに、配偶子を形成して有性生殖を行うことで増殖する場合の2つの生活環が知られている。また、春から夏の昇温期（海水の成層期）において増殖が顕著である。

Noctiluca は表層性で異常増殖や海水の集積作用により赤潮を形成する。具体的には海水 1 L 中に約

10000cell 以上出現すると、着色が認められる。赤潮の色合はトマトジュース様で、衰退期には黄褐色から白色系になる。また、成層期には表層から 10 m 層の間に主に棲息し対流期には全層に分布する¹⁾。

3. ロトカ・ボルテラ捕食系の適用

先にも述べたが、*Noctiluca* は栄養を外から摂取する。Enomoto (1956)²⁾より *Noctiluca* の餌生物のほとんどが珪藻類であることが知られている。したがって、珪藻類が *Noctiluca* の増殖に大きな影響を与えていると言える。そこで、本研究では *Noctiluca* を捕食生物、珪藻を被食生物とする2種類の捕食・被食関係をモデル化するために、ロトカ・ボルテラ捕食系をもとに、個体特有の増殖と、捕食・被食の双方を考慮した個体数変動モデルを作成した。

3.1 ロトカ・ボルテラの捕食・被食モデル

ロトカ・ボルテラ捕食系の式³⁾は次のようになる。

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= (r - ay)x \\ \frac{dy}{dt} &= (bx - c)y \\ \Leftrightarrow \frac{dx}{dt} &= rx - axy \\ \frac{dy}{dt} &= bxy - cy\end{aligned}\tag{1}$$

ここに、 x : 餌生物の個体数 (匹/L), y : 捕食生物の個体数 (匹/L), r : 餌生物の内的自然増殖率 (1/day), a : 捕食生物による捕食率 (L/day/匹), b : 捕食による捕食生物の増殖率 (L/day/匹), c : 死亡率 (1/day) である。

上の (1) 式から、捕食生物がいないとき ($y=0$) には餌生物は内的自然増殖率 r で指数増殖すること、捕食生物によって餌生物が食べられる速度が、餌生物と捕食生物の両方に比例し axy となること、食べた量に比例して捕食生物が bxy で増殖するが餌生物が

いないとき ($x=0$) には捕食生物は死亡率 c で減少することがわかる。

3. 2 係数の設定

(i) 内的自然増殖率 r

内的自然増殖率 r は水温、塩分濃度、日照時間、光の強さ、栄養塩濃度といった環境要因によって変化する。ただ、その中で水温は比較的変動が大きく、他の要因より考慮し易いことから本研究では環境要因として水温のみを考えると、内的自然増殖率は次の式で表され则认为られる。

$$r = v_P \mu_T - c \quad (2)$$

ここに、 v_P : 最大増殖率 (1/day), μ_T : 水温による制限, c : 自然死亡率 (1/day) である。

また、最大増殖率、水温による制限は山下ら (1999) ④により次の式で表され则认为られる。

$$\log_{10} v_P = 0.0275 T_{OPT} - 0.070 \quad (3)$$

ここに、 T_{OPT} : 個体特有の最適水温である。

$$\mu_T = \frac{T}{T_{opt}} \exp \left(1 - \frac{T}{T_{opt}} \right) \quad (4)$$

ここに、 T : 水温, T_{OPT} : 最適水温である。

(ii) 死亡率 c

死亡率は珪藻, *Noctiluca* 共に 0.1 (1/day) ⑤とする。

(iii) 捕食による捕食生物の増殖率 b

捕食による捕食生物の増殖率は餌生物の個体数 x と捕食生物の個体数 y という二つの変数の係数なので、算出することが難しい。そこで、Tada et al. (2004) ④により求められた *Noctiluca* の最適増殖率を v_0 とし、その v_0 と (1) 式の見かけの増殖率 $bx - c$ より算出すると、Tada et al. (2004) ④より *Noctiluca* が増殖する際に十分な餌生物 (珪藻類) の個体数は 2.7×10^3 匹/ml なので捕食による捕食生物の増殖率 b は $bx - c = v_0$ より

$$b = \frac{v_0 + c}{x} \quad (5)$$

と推定できる。

(iv) 捕食生物の捕食率 a

捕食生物の捕食率も捕食による捕食生物の増殖率と同様に、餌生物の個体数 x と捕食生物の個体数

y という二つの変数の係数なので、算出することが難しい。ここで、原生動物の栄養効率が 0.49 であることが国立環境研究所 (2003) ⑥で知られている。栄養効率の定義は栄養効率 = (バイオマス転換分) ÷ (摂取基質分) だが、今回は栄養効率 = (増殖量 (率)) ÷ (捕食量 (率)) と解釈すると、捕食生物の捕食率 a は

$$a = b \times 2 \quad (6)$$

と推定できる。

参考文献

- 1) 福代康夫・高野秀昭・千原光男・松岡敷充 : 日本の赤潮生物, 内田老鶴圃, pp. 78-79, 1995.
- 2) Y.Enomoto: On the Occurrence and the Food of *Noctiluca Scintillans* (MACARTNEY) in the Waters Adjacent to the West Coast of Kyushu, with Special Reference to the Possibility of the Damage Caused to the Fish Eggs by That Plankton. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries Vol.22, No.2, pp.82-88, 1956.
- 3) 巖佐 庸: 数理生物学入門, 共立出版, pp. 34-36, 2005.
- 4) Tada, K., Pithakpol, S., and Montani, S.: Seasonal variation in the abundance of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. Plankton Biology and Ecology, 51, pp.7-14, 2004.
- 5) 山下隆男・福神和興: 珪藻類・渦鞭毛藻類の種間競争を考慮した田辺湾の赤潮モデル, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1026-1030, 1999.
- 6) 国立環境研究所: 環境儀, No7, JANUARY, 2003, <http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/7/10-11.html>