

パラオの外洋と礁湖の一次、二次生産の試算

元田 茂

An estimation of primary and secondary production of the coral reef areas in Palau, Western Caroline Islands

Sigeru Motoda

ウネリの続く紺青色の外洋から船が外礁（堡礁）のパスセージを通過して、錨地のある礁湖に入ると、海は急に穏かになって青緑色を帯び、島々の陰を静かな海面に映している。投錨した船からランチに乗移って島陰をまわり、更に奥深く内湾（岩山湾）に入ると、山は海に迫り、水は少し濁ってくるが、珊瑚礁は尚よく発達している。私がパラオについて（昭和10年6月）先ず強い印象をうけたのは、外洋から礁湖へ、更に内湾へと行くにつれて次々と現れる海の変化であった。

外洋と礁湖、一列の礁によって隔てられたこの二つの環境の差異は多くの人々の興味をひき、礁湖の生成、発達に関連して考察が行われてきた。当時（1935-37, 1938）私は何も判らぬまま無計画にプランクトンの採集を行ったが、その中の使用できるデータを用いて、外洋、礁湖、内湾の三つの異なる環境にある海域の一次生産（植物プランクトンによる基礎生産）と二次生産（動物プランクトン生産）について試算を行ってみた。素より基礎データの精度が悪い（測定回数の不十分、定量測定の不完全）上に、計算に際して種々仮定の要素を用いたので、どの程度真実に近いかわ問題はありますが、一つの試みとして参考に供したい。

パラオ諸島のコロール島の内湾即ち小礁湖（岩山湾）のレブゴル水道（水深10m）の一地点と、オロプシヤカル島とウルクターブル島の二つの隆起珊瑚礁に囲まれた礁湖の錨地（パラオ港またはマラカル

港）（水深約15~25m）と南洋庁水産試験場の観測地点の外洋7°15'N, 134°30'E（コロール島南方約8km）の三地点における表面温度、表面塩分、その他の年平均値（1935-36）を示すと第1表の如くである。塩分は比重測定から換算。水柱1mあたりの光の消散係数（k）は硫酸・沃度カリ法（Pearsall and Hewitt 1933, Motoda 1939, 1969）によって測定した水中照度から計算したもので、感光波長は3600Å~5000Å（青色）である。但し外洋地点では測定できなかったため、茲ではおしよる丸航海（23°N, 142°E., 1967.1.22., 透明度31m）の実測消散係数0.046の値を用いた。この値は、透明度実測値（D=26.6m）からPoole and Atkins（1929）の式（1.7/D）によって計算した値（0.064）に近い。

第1表 パラオの湾内、錨地、外洋三地点の性状比較(1935-36)

地点	表面温度(°C)	表面塩分(‰)	pH	透明度(m)	光の消散係数
湾内	29.2	33.78	8.23	9.4	0.092
錨地	29.1	34.05	8.28	15.9	0.060
外洋	29.1	34.22	8.32	26.6	0.046

三地点表面温度はほとんど同じであるが、塩分、pH共に内湾から外洋へ行くに伴って高く、透明度、光の消散係数の変化は一層著しい。

I. 基礎生産（一次生産）

三層から海水20ℓを汲み、沈殿して得た植物プランクトン（主体は珪藻類）の群体数を計数した。得られた結果は年平均湾内90, 120群体/20ℓであった。精確な錨地と外洋における現存量データはないが、別に採水法（表面）によって得られた三海域の現存

量比、0.5:0.36:0.14 (Motoda 1940) を用いて、湾内の現存量から錨地と外洋の現存量を推定した。このとき細胞数を直接算えなかったが、1 群体あたり細胞数は平均 10 個であったので、群体数を 10 倍して細胞数とし、Strickland (1960) の式、細胞数 = $F \times 10^6 \times \text{葉緑素 (mg)}$ を用いて葉緑素数を計算してみた。主要群は *Chaetoceros* であったので F の値は Graham の *Chaetoceros van heurckii* の値、170 を用いた。三地点における葉緑素量を第 2 表に示す。

第 2 表 パラオの三地点の表面葉緑素量

地点	葉緑素量 (g / m ³)
湾内	0.000265
錨地	0.000191
外洋	0.000074

葉緑素によって同化される炭素量は Ryther and Yentsch (1957) の次の式によって与えられる。

$$P = (R/k) \times C \times 3.7$$

P は海面 1 m² 下の水柱で行われる 1 日間の植物プランクトン光合成量 (gC / m² / day) (基礎生産量又は一次生産量)。 R は表面輻射熱量に対する光合成量で、日間輻射熱量 353gCal / cm² / day から Ryther and Yentsch の Fig. 1 で 7.4 と読み取る。 k は水中の光の消散係数、 C は水柱平均葉緑素量 gChl. / m³。3.7 は植物プランクトン葉緑素の飽和照度における光合成の比の平均値 (Ryther and Yentsch 1957, 表 1)。

三地点における海面 1 m² 下の水柱における生産は第 3 表のようになる。

第 3 表 パラオの三地点の基礎生産量

地点	基礎生産量 (gC / m ² / day)
湾内	0.08
錨地	0.09
外洋	0.04

即ち基礎生産量は外洋で低いのは当然であるが、錨地と湾内は殆ど変わらず僅かに錨地の方が高い。以上は Motoda (1969) に発表したところであるが、現代ならば水中照度は精密な水中照度計で測定出来るし、葉緑素量は直接試料から抽出して比色測定を行うことが出来る。そして基礎生産も直接放射性同位

炭素を用いて少量の試料から測定することが出来る (野外現場における ¹⁴C の使用は一般には禁止されたが)。従って現在ならば高精度な基礎生産量を求めることが出来るであろう。尚、上記の内湾や礁湖 (錨地) の基礎生産は水中の植物プランクトンによるもののみを扱ったものであるが、珊瑚礁水域では石珊瑚類の共生藻類 (Zooxanthella) をはじめ、礁原の海藻や岸近くの水草の同化作用を無視することは出来ない。

II. 二次生産 (動物プランクトン生産)

網目幅 0.33mm、口径 20cm のプランクトンネットによる鉛直採集によって湾内、錨地、外洋の三地点で動物プランクトンの定量を行った。湾内では 0-10m の鉛直採集 (Motoda 1939)、錨地も同じく 0-10m の鉛直採集 (Motoda 1939)、外洋では 0-50m の鉛直採集 (Motoda 1938) である。回数は十分とは言えないが、三地点海水 1m³ あたりの動物プランクトン (主要群は橈脚類) の個体数を計った結果は第 4 表 (1) の如くである。先に発表した (Motoda 1938) 外洋地点 5.3-1.1 個体/10 / (0-50m) は計算ちがいで、10.8-1.3 個体/10 / と訂正すべきものである。GSK (黒潮協同調査) データで得られた動物プランクトン個体数と湿重量の比、100 個体 = 0.8mg 湿重量 (Yamazi 1971)、の値を用いて湿重量を計算し、更に湿重量の 1/10 を乾燥重量とすれば第 4 表 (2, 3) の如くである。

第 4 表 パラオの三地点の動物プランクトン量

地点	(1) 個体数 (N / m ³)	(2) 湿重量 (mg / m ³)	(3) 乾燥重量 (mg / m ³)
湾内	385	3.08	0.308
錨地	835	6.68	0.668
外洋	371	2.97	0.297

動物プランクトンの生産 (成長、増殖) は呼吸による代謝を以って表現し得る。魚類の代謝平衡関係式を Winberg (1956) は、次のように与えた。

$$P = K_1 R / (D - K_1)$$

P は生産。 K_1 は総成長効率で動物プランクトンでは 30%、 D は消化効率で動物プランクトンでは 70% (従来のデータの平均値、Ikeda & Motoda 1975, 1978)。

Rは呼吸量。従って上式は、 $P=0.75R$ となる。

呼吸量は体重と環境温度との関数で次の関係にある (Ikeda 1974)。

$$R = aW^b$$

Rは呼吸量 ($\mu \text{ l O}_2 / \text{ animal } / \text{ hr}$)。Wは動物体乾燥重量 (mg dry wt)。Ikeda (1974) の実験によって動物プランクトン (橈脚類) の呼吸に関し、常数は次のように与えられている。

$$b = -0.01089T + 0.8918$$

$$\log a = 0.02538T - 0.1259$$

Tは環境温度で本研究の場合は三地点大差なく、 29°C (表面) の値を用いる。故に、

$$b = 0.5760$$

$$\log a = 0.6101$$

となる。前述の如く動物体 1 個体の乾燥重量は $8 \times 10^{-4}\text{mg}$ としたから、

$$\log W = \log(8 \times 10^{-4})$$

$$= 0.9031 - 4$$

$$= -3.0969$$

を用いて、

$$\log R = 0.6101 + 0.5760 \times (-3.0969)$$

$$R = 0.0670 \mu \text{ l O}_2 / \text{ animal } / \text{ hr}$$

となる。以上の結果から三地点の 1 m^3 水中の現存動物プランクトンによる 1 時間あたりの呼吸量は第 5 表 (1) の様になる。又呼吸商 (RQ) を 0.8 (Ikeda 1974) とし、1 日間呼吸量を炭素当量 ($1 \mu \text{ l O}_2 = 0.428 \mu \text{ gC}$) で示すと第 5 表 (2) の様になる。

第 5 表 パラオの三地点の動物プランクトン呼吸量

地点	(1) 1 時間あたり呼吸量 ($\mu \text{ l O}_2 / \text{ m}^3 / \text{ hr}$)	(2) 1 日間炭素当量 ($\text{mgC} / \text{ m}^3 / \text{ day}$)
湾内	25.8	0.265
錨地	56.0	0.575
外洋	24.9	0.256

$P=0.75R$ であったから 1 日間の動物プランクトン生産は第 6 表 (1) の様になる。更に動物プランクトンの死亡 (生物量の $10.3\% / \text{ day}$) と脱皮 (生物量の $6.9\% / \text{ day}$) を合わせた損失 ($17.2\% / \text{ day}$) (Ikeda and Motoda 1978) を生産から差し引くと ($(100-17.2) / 100=0.828$ を乗ずると) 1 日間の動物

プランクトン生産は第 6 表 (2) の様になる。即ち 1 m^3 あたり動物プランクトン生産は礁湖 (錨地) で最も高く、湾内 (岩山湾) と外洋は同じくらいで礁湖の半分より少し低い。

第 6 表 パラオの三地点の動物プランクトン生産量

地点	(1) 呼吸から求めた生産量 ($P=0.75R$) ($\text{mgC} / \text{ m}^3 / \text{ day}$)	(2) 脱皮、死亡による損失を 差し引いた生産量 ($\text{mgC} / \text{ m}^3 / \text{ day}$)
湾内	0.199	0.165
錨地	0.431	0.357
外洋	0.192	0.159

III. 生態効率

三地点夫々の基礎生産 (一次生産) から二次生産 (動物プランクトン生産) への物質転換の効率 (生態効率) を計算してみる。上述の基礎生産 (第 3 表) の値は海表面 1 m^3 下の水柱全体で行われている生産を意味しているが、実際には湾内 (レブゴル水道) は水深約 10m、錨地は約 15-25m で、生産は表面から海底までの水柱で行われている。故に三地点の生産量は夫々 0-10m, 0-20m, 0-50m の全層で行なわれる値に等しいといえる。動物プランクトンの生産量は 1 m^3 水柱あたりの値で示してあるから、これを三地点夫々 0-10m, 0-20m, 0-50m の水柱積算値に換算する必要がある。こうして基礎生産と動物プランクトン生産を比べると第 7 表の様になる。この値は従来のデータと甚しく異なったものではないと思われる (谷口 1975 参照)。

第 7 表 パラオの三地点の基礎生産量より二次生産への生態効率

地点	(1) 基礎生産量 ($\text{mgC} / \text{ m}^3 / \text{ day}$)	(2) 二次生産量 ($\text{mgC} / \text{ m}^3 / \text{ day}$)	(3) 生態効率% (2) / (1) $\times 100$
湾内(0-10m)	80	1.65	2.1
錨地(0-20m)	90	7.14	7.9
外洋(0-50m)	40	7.95	19.9

本稿を草するに当って谷口旭、池田勉両氏より多くの助言を与えられた。茲に記して深く感謝の意を表する。

●引用文献

- Ikeda, T., 1974. Nutrition ecology of marine zooplankton. Dissertation, Hokkaido Univ. Fisheries.
- Ikeda, T. and S. Motoda, 1975. An approach to the estimation of zooplankton production in the Kuroshio and adjacent regions. Pacific Sci. Assoc. Special Symp. Mar. Sci. Dec. 1973, Hong Kong, Ser.2,24-28.
- Ikeda, T. and S. Motoda, 1978. Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. U. S. Fishery Bull. 76(2),357-367.
- Motoda, S., 1938. Quantitative studies on the macroplankton off coral reef of Palau Port. Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc., 15(4), 242-246
- Motoda, S., 1939. Submarine illumination, silt content and quantity of food plankton of reef corals in Iwayama Bay, Palao. Palao Trop. Biol. Sta. Studies, 1(4), 637-649.
- Motoda, S., 1940. Comparison of the conditions of water in the bay, lagoon and open sea in Palao. Palao Trop. Biol. Sta. Studies, 2(1), 41-48
- Motoda, S., 1969. An assessment of primary productivity of a coral reef lagoon in Palau, Western Caroline Islands, based on the data obtained during 1935-1937. Rec. Oceanogr. Works Japan, 10(1), 65-74
- Pearsall, W. H. and T. Hewitt, 1933. Light penetration into freshwater. II .Penetration and change in vegetation limits in the Windermere. Jour. Exp. Biol. 10(4), 306-312.
- Poole, H. H. and W. R. G. Atkins, 1929. Photo-electric measurements of sub-marine illumination throughout the year. Jour. Mar. Biol. Assoc. U.K. 16, 297-324.
- Ryther, J. H. and C. S. Yentsch, 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr.2, 281-286.
- Strickland, J. D. H., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 122, 1-172.
- 谷口旭, 1975. 動物プランクトンの生産生態. 海洋科学基礎講座 6, 117-235. 東海大学出版会.
- Winberg, G. G., 1956. Rate of metabolism and food requirement of fishes. Fish. Res. Bd. Canada, Transl. Ser. 194.
- Yamazi, I., 1971. Data report and distributional maps of the CSK standard zooplankton samples. Misc. Rep. Nat. Sci. Mus. Tokyo, No.6, pt.1, 1-344.