

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26304031

研究課題名(和文) ミャンマーの高い漁業生産を支える海洋環境と潜在的リスクの評価

研究課題名(英文) Evaluation of environmental factors and the risks controlling ocean productivities at the coast of Myanmar

研究代表者

小池 一彦 (KOIKE, Kazuhiko)

広島大学・生物圏科学研究科・教授

研究者番号：30265722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：ミャンマーの沿岸漁業生産を担う環境要因をミエック市沖の現地調査によって調べた。5月末から半年間は雨季の影響を受け、大量の河川水が沿岸に流れ込み、同時に沿岸を「泥の海」にしていた。この著しい海水の濁りは、生態系の基礎生産者である植物プランクトンの光合成を妨げ、より上位の生態系(たとえば魚類)の縮小を招いていると思われた。この濁りはタニンダーリ川沿岸の森林伐採や、濁りを除去する役目をもつマングローブ林の減少に起因し、ミャンマーの持続的漁業のためには、これら陸域環境の保全も必要であると思われる。

研究成果の概要(英文)：Environments supporting coastal fisheries production of Myanmar were investigated in the field surveys at off Myeik city, southern Myanmar. The area was largely influenced by terrestrial water inflows in the rainy season from end of May until December, and this caused extensive turbidity covered entire coastal waters. Such turbid water disturbed light penetration and resulting photosynthesis of the primary producer, phytoplankton. Decrease of the primary production must cause shrinkage of the animal productions at the upper trophic levels. This fluvial sediment loads from the and areas were probably resulted by deforestations at the river basins and of mangrove forests, which is also know to trap fluvial particles from water. For sustainable coastal fisheries of Myanmar, environmental protection, not only the coasts but the connecting land areas are needed.

研究分野：海洋微細藻類学

キーワード：ミャンマー 海洋環境 基礎生産 珪藻 マングローブ 森林開発 ミエック

1. 研究開始当初の背景

ミャンマーは3000 kmにもおよぶ海岸線を持つ海洋水産国で、海面漁獲量はASEAN諸国中3位を占めている。この高い漁業生産は、ミャンマーのいくつかの特徴的な環境によって支えられていると推測される；たとえば、明確な雨季をもち、原始の大河から豊富な栄養塩が海に流れ込むこと、遠浅なアングマン海が広がること、東南アジア第3位の面積を誇る生産性豊かなマングローブ林が残されていることなどである。しかしながら、ミャンマーにおける学術的な海洋調査には行われていない：我々のものを含めわずか4報およびSEAFDECの調査報告書1報があるのみで、これら沿岸環境とミャンマーの高い漁業生産性との関連の実際は不明である。

2. 研究の目的

我々は本科研費研究にいたる前に大学の資金サポートを得て、現地の研究者との協力の下、ミャンマー南部において4回の植物プランクトン調査を行ってきた。その情報は断片的であったが；雨季（南西モンスーン）直後には珪藻類が大量に出現すること、マングローブ水路においては季節を問わず植物プランクトンが増殖していること(Su-Myat et al., 2012. Fish. Sci), 乾期の後半には珪藻から渦鞭毛藻へと組成がシフトし、時に有害種（貝毒や赤潮の原因種）が出現すること(Su-Myat and Koike, 2013. Harmful Algae)などを明らかにしてきた。

同時に、漁村部において聞き取り調査を行い、「魚がとれなくなり、サイズが小さくなっている」との不満をよく聞いた。ミャンマー水産局の年間統計(2010年版)によれば、海面漁業の漁船数は2000年から2010年の10年間で18%近くも増加し、ミャンマー沖合で操業する外国漁船数は10倍以上にもなっていることも知った。

我々は、ミャンマーの沿岸環境や季節的な特性が高い基礎生産をもたらす、かつ、高い漁業生産をもたらすと考えているが、それはわずか4回の断片的調査から推測しているに過ぎない。また、二つのリスク（過剰漁獲と有害プランクトンの発生）の評価にはエビデンスが足りない。この研究では、現地研究協力者と現地組織との共同で、頻繁で定量的な植物プランクトンと基礎生産量の調査を行い、科学的なリスク評価（過剰漁獲の実態、有害プランクトンの発生の影響）を実施することを目的とした。

3. 研究の方法

平成26年12月（雨季直後）、平成27年3月（乾季）、および9月（雨季）にミャンマー南部のミエックを訪れ、豊かな漁場として知られるカダン島の周辺にいくつかの定点を設定し、それぞれの季節別に以下を測定した。

(1) 測器による物理的水塊構造の把握

(2) 無機態栄養塩分析

(3) クロロフィル濃度測定による植物プランクトンバイオマスの推定および固定試料による植物プランクトン種の同定・密度定量

(4) パルス変調蛍光法による海洋基礎生産速度の推定

(5) 溶存態有機物濃度(DOC)および一般細菌数の計数

これらの計測項目の内、特に4)は一般的な基礎生産測定（例えば¹³C同化法）が実施できない僻地での応用を目指して独自に開発した手法であり、光合成活性と植物プランクトンバイオマス、そして光合成速度に大きな影響を与える水柱透過光の各パラメータ別に、基礎生産速度をコントロールする要因を解析できる。

以上の水柱生産を対象とした研究調査に加え、底泥のコアサンプルを毎回採集し、植物プランクトンの休眠期細胞を同定・定量して、より長期の植物プランクトン（および他原生生物）の変動を把握した。

漁業生産に関しては、現地で重要漁業対象種となっているタチウオ類を対象として、市場での購入個体・ネットで採集した個体のDNAバーコーディングと形態観察を行い、その種組成に関して調べた。

4. 研究成果

(1) 物理的水塊構造

雨季・雨季直後・乾季の3つの特徴的なシーズンを通して、表面水温は26.79~33.27の狭い範囲にあった。乾季3月の表面水温が最も高かった。塩分は季節によって極端に変化し、雨季(9月)の表面塩分はおよそ7PSUと、この時季における河川流入の大きさがうかがえた。河川流量は乾季に入ると減少し、また、雨季直前の乾季には南西風が卓越することによって沖合の水塊が大陸沿岸に接近し、塩分は32.3PSU程度まで上昇した。

塩分と共に、明瞭な季節性を見せたのは水柱消散係数であった。乾季では $0.57 \pm 0.23 \text{ m}^{-1}$ と透明度の高い水塊が広がるが、雨季には一転して消散係数が $2.30 \pm 1.03 \text{ m}^{-1}$ と急上昇した。雨季直後は $1.03 \pm 0.43 \text{ m}^{-1}$ であり、雨季と乾季の中間的な値を示した。

植物プランクトンの増殖に大きな影響を及ぼす無機態栄養塩は、総じて雨季に高く、河川からの栄養塩の流入負荷が高かった。一方、乾季には沖合の水塊が接近し、後述するようにこの時期の植物プランクトンの大量消費もあり、栄養塩濃度は極端に減少した。

(2) 植物プランクトンの出現量と基礎生産量

クロロフィルa量は乾季に高く、平均 $3.14 \pm 2.64 \mu\text{g L}^{-1}$ であった。雨季直後はそれに準じて植物プランクトンが多く出現し、クロロフィルa量の平均は $2.14 \pm 1.25 \mu\text{g L}^{-1}$ であった。

パルス変調蛍光法によりこれら植物プランクトン群集の光合成活性を解析したところ、雨季直後の群集が高濃度の栄養塩濃度を反映して最も高く、相対的電子伝達速度 (rETR) の461は、乾季の354を大きく上まわった。乾季の活性は雨季の値(426)をも下回り、この時期に栄養塩が枯渇していることがうかがえた。

しかしながら、基礎生産速度は乾季において最も高く、雨季には極端に減少した。乾季の水柱基礎生産速度 $2.59 \pm 1.56 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に比べ、雨季直後および雨季の値はそれぞれ 1.36 ± 0.77 , $0.17 \pm 0.11 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。乾季の高い基礎生産は、この時期の海水清澄化による有光層深度の上昇に起因し、逆に、栄養塩濃度が高いながら基礎生産が低い雨季および雨季直後は、海水の高濁度化による有光層の厚みの減少によるものである(図1)。このように熱帯海域で基礎生産の明瞭な季節性が見られたことは新しい知見である。なお、この研究で用いたパルス変調蛍光法においては4電子の伝達によって1分子の酸素が発生することを前提としている(すなわち O_2/ETR 比を0.25と設定)。しかし、近年の研究報告によるとこれは過大評価であるとされる傾向にあるので、コンセンサス値 $\text{O}_2/\text{ETR}=0.117$ (Goto et al. 2008) にして計算したところ、年間の基礎生産量は $129.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となり、栄養塩レベルから想定される基礎生産量の代表値(300 - 500 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) (Nixon 1995) を大きく下まわった。

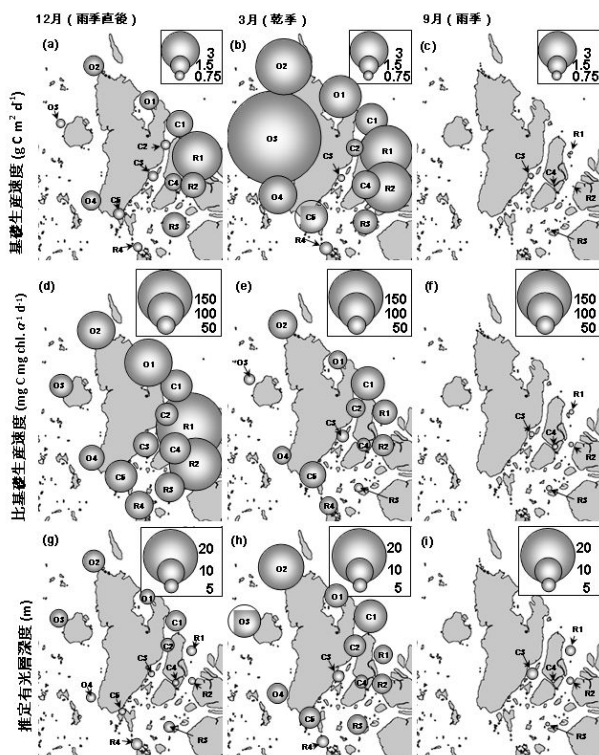


図1. 季節毎の基礎生産速度と有光層深度

(3) 出現する植物プランクトン種の特徴
全調査を通じて植物プランクトンは珪藻

類によって占められた。最も基礎生産が高かった乾季には *Bellerocha horologicalis* の連鎖群体が優占した。この珪藻種は濁度の高い沿岸域に多く出現することで知られ、それを示すようにこの海域においては全季節を通じて優占した。興味深いことに、底生珪藻である *Pleurosigma normanii* と *Bacillaria paxillifera* がプランクトン試料に多く出現した。これらはこの海域の底質面積の多くを占めるマングロープ底泥に由来するのかもしれない。*Thalassionema nitzschoides* も全季節を通じて多く出現した。この種はマングロープ水路に特に多く出現し、同様の傾向は他のマングロープ域でも確認されている。このように、この海域では、プランクトン種のみならずマングロープ底泥や水路に由来する珪藻類も基礎生産者として重要な役割を果たしている。

(4) DOC と細菌数

上で述べたように植物プランクトンによる基礎生産は乾季において最も高く、雨季および雨季直後には濁質による有光層深度の低下により、大きく減少した。しかし、特に雨季直後にはその低い基礎生産性を補う別の微生物生産機構があることがうかがえた。雨季直後にはDOC濃度は平均 $7.48 \pm 4.22 \text{ mg C L}^{-1}$ と、乾季の 2.34 ± 0.50 , 雨季の $4.17 \pm 0.23 \text{ mg C L}^{-1}$ を大きく上まわった。このDOCを餌として、雨季直後には細菌が多く出現し、その密度は $11.3 \pm 5.80 \times 10^6 \text{ cells ml}^{-1}$ と雨季の28倍、乾季の51倍にも達した。雨季直後のこの細菌数は、世界の沿岸の平均細菌密度 $10^6 \text{ cells ml}^{-1}$ と比べ明らかに高く、これが微生物食物連鎖を駆動し、この時期の光合成生産の低さを補充している可能性が考えられた。

この、植物プランクトンの代わりにDOC~細菌~従属栄養性原生生物の食物連鎖が卓越して生物生産に寄与するという考え方は、研究協力者の松岡によって他熱帯海域の堆積試料の解析結果を加え補完され、いくつかの学術論文としてまとめた。

(5) 同海域の海洋生産の構造

図2は全調査結果を主成分分析に供した結果である。雨季の調査点(オレンジ)はひとつのクラスターを形成し、主成分1(PC1)と強い正の相関を示した。一方、乾季の調査点(青)は負の相関だった。PC1は栄養塩濃度と水柱消散係数に強い正の相関を持ち、塩分の上昇に強い負の相関を持つことから、河川流量の増加によって決定される成分である。ここで基礎生産速度(Pn)を見ると、水温や塩分、有光層深度、水柱光量と共にPC1に強い負の相関を持つ。すなわち、本来栄養塩をもたらす植物プランクトンの増殖を促進するはずの河川流量の増加が基礎生産の低下をもたらしていることになる。これは河川からもたらされる高濃度の濁質が水柱への光

の透過を阻害し、それが光合成の速度を抑えている事による。

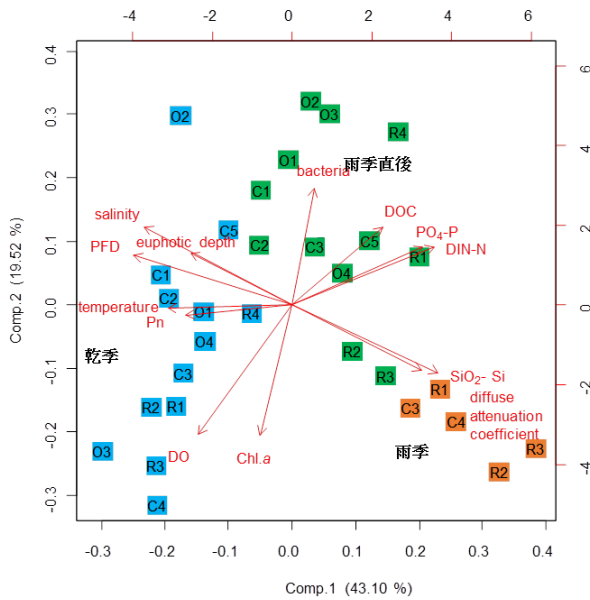


図 2 . 主成分分析の結果

(6) 同海域の生産の特色

この海域では、広い塩分耐性と高濁質にも適応した連鎖珪藻が基礎生産の主体を担っていた。彼らの基礎生産は同地の季節性モンスーンによって大きく左右され、明瞭な季節性を示した。乾季は最も生産性の高い季節であり、それに雨季直後、雨季が続いた。ただし後 2 者の生産性は乾季の 52% および 6.6% に留まり、これらが同地域の季節の半年を占めることを考えると年間基礎生産速度は $129.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となり、この値は他海域と比較しても著しく低い。

この低い生産性は明らかに河川からもたらされる高濁質によるものだが、それ自体が自然現象ではなく、人為的な可能性がある。特に同地域では最大河川のタニンダーリ川沿いのプランテーション開発に伴う森林乱開発が問題となっており、露出した地面が雨に叩かれることによって通常ではあり得ない濁質が川を通じて海に流れ込んでいる。この濁質流入に拍車をかけているのが河口域のマングローブ林の過剰伐採である。マングローブはその複雑な根茎形状により、水の流れを緩やかにし、そこに含まれる粒子をトラップし、陸域から流れ込む 85% 以上の濁質を除去するとされる。この働きが弱まったとすれば、尋常ではない濁質が直接海域に流れ込み、表面を広く覆うことになる。

ミャンマーが豊かな漁場を維持して行くには、海洋環境のみに目を向けるのではなく、森と川、そしてマングローブ林とのつながりにも目を向けるべきである。

(7) 現地の漁業資源生態

ミャンマーにおいて重要な漁業対象種であるタチウオ (*Trichiuridae* 科) の資源管理

の一助とするために、現地で採集した 95 個体のミトコンドリア cytochrome c oxidase subunit I 遺伝子解析を実施した。現地市場では種や属が混在した状態で売られ、遺伝子解析の結果、3 属の 5 種が確認された。その内訳は *Trichiurus* sp., *Lepturacanthus savala*, *Lepturacanthus* sp., *Eupleurogrammus* sp., および *Eupleurogrammus muticus* であった。

< 引用文献 >

Goto N, Miyazaki H, Nakamura N, Terai H, Ishida N, Mitamura O (2008). Relationships between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated (PAM) chlorophyll fluorescence and photosynthetic rates by traditional and common methods in natural freshwater phytoplankton. *Fund App Lim* 172: 121-134.

Nixon SW (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

N. Okamoto, Maung-Saw-Htoo-Thaw, Sein-Thaung, K. Koike, J. Shibata, T. Tomiyama, Species composition of hairtails (*Trichiuridae*) in Myanmar, *Regional Studies in Marine Science*, 17 巻, 2018, 73-77, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.11.007> (査読有)

K. Matsuoka, Maung-Saw-Htoo-Thaw, T. Yurimoto, K. Koike, Palynomorph Assemblages Dominated by Heterotrophic Marine Palynomorphs in Tropical Coastal Shallow-water Sediments from the Southern Myanmar Coast, *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)*, 52 巻, 2017, 77-89. <https://www.jircas.go.jp/ja/publication/list/jarq> (査読有)

Maung-Saw-Htoo-Thaw, S. Ohara, K. Matsuoka, T. Yurimoto, S. Higo, Khin-Ko-Lay, Win-Kyaing, Myint-Shwe, Sein-Thaung, Yin-Yin-Htay, Nang-Mya-Han, Khin-Maung-Cho, Si-Si-Hla-Bu, Swe-Thwin, K. Koike, Seasonal dynamics influencing coastal primary production and phytoplankton communities along the southern Myanmar coast, *Journal of Oceanography*, 73 巻, 2017, 345-364. DOI 10.1007/s10872-016-0408-7 (査読有)

K. Matsuoka, T. Yurimoto, V.C. Chong, A. Man, Marine palynomorphs

dominated by heterotrophic organism remains in the tropical coastal shallow water sediment; the case of Selangor coast and estuary of Manjung River in Malaysia, Palentological Research, 21 巻, 2016, 1-13, <http://dx.doi.org/10.2517/2016PR006> (査読有)

T.Yurimoto, D. Aue-Umneory, C. Meeanan, I. Tsutsui, Bloom of two dinoflagellates *Ceratium furca* and *Diplopsalis lenticular* in a mangrove estuary of Thailand, International Aquatic Research, 7 巻, 2015, 133-141. 10.1007/s40071-015-0099-5 (査読有)

〔学会発表〕(計7件)

K. Koike, S. O-hara, Ayu-Lana-Nafisyah, M. Koide, Y. Nakajima, PAM fluorometry to reveal coastal microalgal dynamics; our trials for red-tide monitoring and physiological studies of coral symbionts (zooxanthellae). Aquafluor II, 2017. K. Koike, Application of a pulse-amplitude-modulation (PAM) fluorometry to monitor harmful algal blooms, The Third Symposium for Different Fields Exchange by Tenure Track Researchers in Tokyo University of Marine Science and Technology, 2016.

Ayu-Lana-Nafisyah, Endang-Dewi-Matithah, Mirni Lamid, S. O-hara, K. Koike, Occurrence of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) on the mangrove sediment in Probolinggo, East Java Province, Indonesia, 2016 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 2016

岡本直大, Maung-Saw-Htoo-Thaw, 小池一彦, 柴田淳也, 富山毅, ミャンマーにおけるタチウオ類の資源生態, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 2016

K. Matsuoka, T. Yurimoto, V.C. Chong, A. Man, Marine palynomorphs dominated by heterotrophic organisms remain in tropical marine sediments- New palynological approach to re-construction of tropical coastal environments, JICA Workshop on "Development of Aquaculture Technologies for Sustainable and Equitable Production of Aquatic Products in Tropical Coastal Areas, 2015

Maung-Sawa-Htoo-Thaw, King-Maung- Cho, Khin-Ko-Lay, S. Higo, K. Matsuoka, K. Koike, Mechanisms of the primary production in the southern Myanmar

coast, 2015 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 2015
小原静夏, Maung-Saw-Htoo-Thaw, 松岡元喜, 肥後翔太, 米山弘行, 萩原悦子, 吉岡孝治, 小池一彦, パルス変調蛍光法による広島県東部海域の基礎生産速度の推定, 2015 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 2015

〔図書〕(計1件)

小池一彦, 有元太朗, 恒星社厚生閣, 有害有毒プランクトンの科学, 2016, 340

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小池一彦 (KOIKE, Kazuhiko)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授
研究者番号: 30265722

(2) 研究分担者

富山毅 (TOMIYAMA, Takeshi)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・
准教授
研究者番号: 20576897

坂本達也 (YURIMOTO, Tatsuya)
国立研究開発法人水産研究・教育機構・
西海区水産研究所・研究員
研究者番号: 90372002

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

松岡数見 (MATSUOKA, Kazumi)
Maung-Saw-Htoo-Thaw
Khin-Ko-Lay
Swe-Thwin
小原静夏 (O-HARA, Shizuka)