

Functions of mangrove plants-roots and soil chemicals

*井上 智美¹

*Tomomi Inoue¹

1. 国立環境研究所

1. National Institute for Environmental Studies, Japan

The soils of coastal areas in tropical and sub-tropical regions are often low in nutrients and therefore have low fertility. First, tidal fluctuations wash out considerable quantities of organic matter such as plant detritus into the ocean, leading to low nitrogen soils. Second, minerals necessary for plant growth, such as iron and phosphorus, tend to be adsorbed on soil particles and oxide complexes in tropical oxidized soils, and thus plants cannot uptake these immobilized minerals. Under such infertile growth conditions, how do mangroves get enough nutrients to correspond to their high productivity? This presentation focuses on functions of mangrove plants which are keys to the highly productive mangrove ecosystems—that is, what happens to soil chemical properties after mangrove plants colonize? In order to characterize mangrove ecosystems and provide scientific guidelines for their conservation, knowledge of their soil chemical properties is necessary, because these properties are the basis of the ecosystems.

When plant seeds germinate and start to grow, soil chemical properties are affected. It is known that plants excrete a variety of substrates that facilitate the availability of macro- and micronutrients in the root zone, by enhancing absorption of appropriate nutrients even under nutrient deficient conditions. For instance, organic acid exuded from plant roots, such as citrate and malate, are known to mobilize P from sparingly soluble Fe, Al and Ca phosphates. Therefore, greater amounts of nutrients such as P and Fe are sometimes observed in a plant root zone compared with the bulk soil. Besides root exudates, plant roots continuously provide organic matter such as decaying root parts. These organic matter-rich root zones are different from the bulk soil and provide niches in which bacteria thrive, because heterotrophic bacteria can use these plant-derived carbon compounds as electron donors to generate energy. Therefore, soil microbial metabolic processes also change in association with plant colonization.

So far, root exudates from four mangrove species (*K. obovata*, *B. gymnorhiza*, *E. agallocha* and *H. fomes*) have been characterized. In field work, there are some reports that Fe²⁺ concentration in mangrove soil pore water is positively correlated with live root density. These observations indicate that mangrove roots lead to enhanced Fe mobilization. We conducted a pot experiment and found that *A. marina* has high ability to move Fe and P in soil pore water, suggesting that mangrove roots provide Fe- and P-solubilizing substrates. In the pot experiment, we also found that three mangrove species (*A. marina*, *R. stylosa* and *B. gymnorhiza*) have a function to enhance soil nitrogen content. During the six months' cultivation period, amounts of nitrogen in the mangrove soils increased four times more than in uncolonized soil. At the end of the cultivation, bacterial nitrogen fixation was significantly higher in the mangrove soil than in uncolonized soil, leading to an interpretation that the mangrove plants induced nitrogen fixing bacteria around them.

These self-supporting abilities observed in mangroves could be key functions so that they can form highly productive ecosystems even under sterile environments. There are more functions in mangroves that we do not yet know, so there is much more to discover.

キーワード：マングローブ植物、根の機能、土壌化学

Keywords: mangroves, root function, soil chemicals

海草藻場における炭素隔離・貯留過程の解析

Carbon sequestration and storage in seagrass meadows

*渡辺 謙太¹、清家 弘治²、所 立樹¹、門谷 茂³、桑江 朝比呂¹

*Kenta WATANABE¹, Koji SEIKE², Tatsuki TOKORO¹, Shigeru MONTANI³, Tomohiro KUWAE¹

1. 港湾空港技術研究所、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 北海道大学

1. Port and Airport Research Institute, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. Hokkaido University

Seagrass meadows are one of the most productive ecosystems and play an important role as carbon reservoirs, storing large amount of organic carbon in the sediments. Estuaries are considered to be a net source of atmospheric CO₂ due to the mineralization of terrestrial carbon but recent studies demonstrated that seagrass meadows in estuaries can be sinks for atmospheric CO₂. The flow of organic and inorganic carbon derived from multiple sources regulates these processes but the knowledge about these relationships is limited. In this study, we evaluated the flow of carbon derived from multiple sources in seagrass meadows using isotopic approaches and associated the flow with the processes of both atmospheric CO₂ uptake and carbon storage in sediments. We estimated the contribution of atmospheric CO₂ to assimilated seagrass carbon by a carbon-source mixing model using radiocarbon concentrations ($\Delta^{14}\text{C}$). The model indicated that the seagrass assimilated 0–40% of its inorganic carbon as atmospheric CO₂. The stable isotopic signatures ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of both particulate organic carbon (OC) and sedimentary OC suggested that the efficiency of OC storage in sediments would be dependent on OC derived from multiple sources. We will also present the historical changes in carbon storage using sediment core analyses.

キーワード：海草藻場、炭素貯留、同位体分析、堆積物、有機炭素

Keywords: seagrass meadows, carbon storage, isotopic analyses, sediment, organic carbon

温帯性サンゴによる生理学的応答の季節変動

Seasonal variation of physiological response by temperate zone corals

*樋口 富彦¹、Agostini Sylvain²

*Tomihiko Higuchi¹, Sylvain Agostini²

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 筑波大学下田臨海実験センター

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba

Rising temperature has resulted in a poleward shift/expansion of corals in Japan (Yamano et al., 2011). However corals at high latitude are confronted to environmental conditions that differ from tropical conditions with lower temperature in winter, lower light levels, higher nutrients concentrations, etc. Moreover due to the increase in CO₂, aragonite saturation state of the ocean is decreasing (Kleypas, 1999) and this trend may counter the expansion of corals. We conducted chamber experiment at Shimoda located on the tip of the Izu peninsula, Shizuoka, Japan. To understand the influence of seasonal variation on the physiological response (such as photosynthesis, respiration, calcification, antioxidant enzyme activities, etc.) of temperate corals, colonies of *Porites heronensis* and *Alveopora japonica* were transplanted in the field. Every three months for 1.5 year, three colonies of each species are sacrificed: their metabolisms is first measured in situ and then different physiological parameters are measured. Bleaching during winter was observed for both species. In winter, bleached *A. japonica* and *P. heronensis* showed reduced metabolic rates compared to summer. Once the temperature re-increased, all colonies of *A. japonica* recovered and all except one *P. heronensis* recovered. Antioxidant enzyme superoxide dismutase (SOD) in host coral of both *A. japonica* and *P. heronensis* also clearly increased in summer and decreased in winter.

In *P. heronensis* the mitochondrial electron transport activity per protein ratio was higher in summer than in winter and the zooxanthellae mitotic index reached values as high as 30% during the warmer months. These observations suggest that *A. japonica* is resilient to low temperature with a high chance of recovery after bleaching whereas *P. heronensis* compensate for the reduced growth rates in winter with a highly active metabolism and high growth rate in summer.

キーワード：温帯性サンゴ、代謝変動、低水温白化

Keywords: temperate zone corals, metabolic changes, cold temperature bleaching

サンゴポリプ内における褐虫藻の個体群動態と活性酸素種の動態を基にしたサンゴの白化現象のモデル化

Modeling coral bleaching based on dynamics of zooxanthellae population and reactive oxygen species inside a coral polyp

*中村 隆志¹、灘岡 和夫¹、樋口 富彦²、宮島 利宏²、山本 高大³、渡邊 敦¹

*Takashi Nakamura¹, Kazuo Nadaoka¹, Tomihiko Higuchi², Toshihiro Miyajima², Takahiro Yamamoto³, Atsushi Watanabe¹

1. 東京工業大学 環境・社会理工学院、2. 東京大学 大気海洋研究所、3. クウェート科学研究所

1. School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. Kuwait Institute for Scientific Research

Coral bleaching is a phenomenon in which corals expel/digest a large amount of their symbiotic algae (zooxanthellae), and it is caused by some stresses, e.g., thermal stress. In the summer of 2016, mass bleaching induced by higher seawater temperature and resultant mass mortality had catastrophically damaged coral communities on many coral reefs all over the world. Such mass bleaching events will likely occur more frequently in near future due to global warming. But the reason and mechanism of the bleaching are still unclear. Therefore, for projecting near future status of coral communities precisely, it is important to elucidate the bleaching mechanism and to develop a numerical simulation model.

It is observed that corals expel zooxanthellae even under normal thermal conditions (e.g. Hoegh-Guldberg et al., 1987). The number of zooxanthella cells increases due to reproduction, but the zooxanthellae density in the coral tissue is kept around the order of 10^6 cells cm^{-2} under normal thermal conditions.

Therefore, it is considered that the zooxanthella density of $\sim 10^6$ cells cm^{-2} is optimal and coral is controlling the density to be an optimal value by expelling zooxanthellae. Now, how is the coral determining the optimal value of zooxanthella density? Zooxanthellae produce photosynthate which is an important energy source for corals, but these also produce reactive oxygen species (ROSs), which damage coral cells, through their photosynthesis (e.g. Weis 2008). It is considered that corals basically want to keep the density of zooxanthellae as high as possible for improving photosynthate availability. But when the zooxanthella density increases, the concentrations of harmful ROSs also increase in the coral cells because of zooxanthellae ROS production. Therefore, coral may control zooxanthella density for keeping ROS concentration within tolerable levels by expelling/digesting zooxanthellae. Additionally, it is reported that the production rate of ROS increases with increasing light intensity and temperature (e.g. Saragosti et al. 2010; McGinty et al., 2012). When temperature increases, ROS release rate per individual zooxanthella cell also increases, then the ROS concentration increases. Thus, corals have to decrease zooxanthellae density for keeping the ROS concentration at tolerable levels. This is our hypothesis for the coral bleaching mechanism. In this sense, the bleaching action might be an emergency measure of corals.

Based on this hypothesis, coral bleaching model was developed based on the coral polyp model (Nakamura et al., 2013) by incorporating both ROS dynamics and zooxanthella population dynamics. The ROS dynamics includes light and temperature dependent ROS release process and detoxification of ROS by antioxidant substances, and the zooxanthella population dynamics includes processes of reproduction, mortality, and expelling/digesting rates that depend on the ROS concentration in the coral cell. These dynamic processes are linked with coral internal environments reproduced by the coral polyp model. Results of simulated 30 day incubation experiments under different temperature conditions by the bleaching model well reproduced coral bleaching phenomenon dependent on temperature. Moreover, it is notable that the simulation result under a higher incubation temperature for first 5 days followed by

incubation under normal temperature for 25 days well reproduced recovery process following bleaching process. It is one of very unique features of this model.

Moreover, the bleaching model was coupled with a hydrodynamic-biogeochemical model based on the Regional Ocean Modeling System (ROMS; Shchepetkin and McWilliams 2005), and the coupled model system was applied to the Shiraho coral reef, Ishigaki Island, Japan. From these results, it was confirmed that the zooxanthella density decreases with increasing offshore temperature, and clear spatial variation was confirmed that coincided with spatial variation of water temperature inside the reef.

キーワード：サンゴの白化現象、数値シミュレーション、褐虫藻、活性酸素種

Keywords: coral bleaching, numerical simulation, zooxanthellae, reactive oxygen species

鉱物と掛り合う沿岸海洋：バイオマスによるサンゴ礁回復

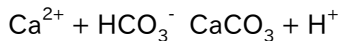
Minerals in Coastal Ocean: Recovery of Biomass-stocking Coral Reefs

*市川 和彦¹*Kazuhiko Ichikawa¹

1. (前) 地球環境科学院、北海道大学

1. (post) Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

大気二酸化炭素が溶け込んだ表層海水に鉱物・バイオマスは溶解する。酸・塩基解離の可逆的化学反应のメカニズムは石灰化を行う生き物の個体の発育、それらの群体への発展途上には不可欠である。しかし生物と無関係に当反応は海水中で起きる。表層海水の正体は、当反応に関わる各溶存イオン種の化学ポテンシャルの高低によって評価されるからである。大気二酸化炭素に対して開放系にも拘わらずその浅瀬海域は弱塩基を保持・維持している。尚大気下の淡水は酸性(pH < 7)である。酸・塩基滴定実験を通して可逆的石灰化反応



を10年前に偶然発見した。塩濃度 (Salinity)によって石灰化反応メカニズムは異なる。海水中では上記の酸解離反応で、淡水では溶解・析出の物理反応 $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$ である。石灰化・脱石灰化の可逆的反応は酸解離反応でプロトン生成・プロトン消費の可逆反応でもある。表層海水の本性は、弱塩基範囲内に制御されたプロトン濃度のホメオスタシス (恒常性) 機能を備えていることにある。しかし、人間活動による大気二酸化炭素濃度増加による海洋酸性化は鉱物溶解をもたらす。

石灰化化学反应の溶解度積 $[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]$ は $[\text{H}^+]$ 増加 (pH降下) と共に増すので正味の石灰化速度は減少する。よって表層海洋の酸性化は当速度を減少させる。正味の石灰化速度は、海水中ではカルシウムイオンと HCO_3^- との溶解度積に反比例するので $[\text{Ca}^{2+}]$ のpH依存性を評価しなければならない。尚 $[\text{HCO}_3^-]$ のpH依存性は小さい。正味の石灰化速度の検討は、 $[\text{Ca}^{2+}]$ のpH依存性の評価が不可欠であって水溶性炭酸塩化学の立場のみでは不十分である。カルシウムイオン濃度の供給源は、鉱物やバイオマスの海洋への溶出から期待される。サンゴ礁の生物多様性維持は重要であって、人間活動による PCO_2 増加のみならず沿岸、サンゴ礁の魚類・貝類の漁獲量制限を検討しなければならない。(K. I.: ichikawa@ees.hokudai.ac.jp)

キーワード：鉱物、沿岸海洋、サンゴ礁、回復能、バイオマス

キーワード：鉱物、沿岸海洋、サンゴ礁、回復能、バイオマス

Keywords: Mineral, Coastal Ocean, Coral Reefs, Recovery Potential, Biomass

造礁サンゴの遺伝学的解析による種分化とコネクティビティ解析 Genetic connectivity and speciation of reef-building coral

*安田 仁奈¹

*Yasuda Nina¹

1. 宮崎大学

1. University of Miyazaki

高い生物多様性を有すサンゴ礁生態系は、気候変動に最も脆弱な生態系のひとつであり、現在世界中のサンゴ礁生態系は衰退傾向にある。日本国内では、最大のサンゴ礁海域である石西礁湖において、2016年に高水温により約7割のサンゴが白化し、保全策の検討が急務となっている。一方で、温帯域では海水温の上昇に伴い、亜熱帯域で絶滅危惧種として認定された造礁サンゴ複数種の生息分布域が北上していることが報告されている (Yamano et al 2011)。そのため、温帯域が亜熱帯域で危機的にあるサンゴの避難所として期待されている。しかし、北上したサンゴの北限分布域周辺の集団は、遺伝的多様性が低く、他地域からの加入量が限定されている場合、絶滅と加入を繰り返す不安定な集団である可能性もある。そのため、北上集団の遺伝的多様性や、幼生分散を通じた周辺集団との連結性を明らかにすることは、避難所としての機能役割を明らかにする上でも重要である。そこで本研究では、①サンゴの衰退が深刻である石西礁湖周辺の海域で回復に重要な幼生分散で繋がる集団同士を同定するため、および②分布北限域に新たに出現した集団の遺伝的安定性を調べ、避難所としての役割を明らかにするために、亜熱帯域から温帯域まで幅広く分布している普通種であり、過去80年において北上しているクシハダミドリイシ、および熱帯・亜熱帯種であり近年北上が確認されたアオサンゴを対象とし、石西礁湖周辺海域および黒潮に沿った亜熱帯から温帯にわたる集団について高度多型遺伝子マーカー遺伝子座を用いた集団遺伝解析を行った。

アオサンゴでは、ベイズ法を用いたクラスタリング解析および核のITS2領域において、隠蔽的な種分化が起きていることが分かった。推定された2種 (HC-AおよびHC-B) のうちHC-Bはサンゴ礁内のより温暖な環境を好み、もう片方のHC-Aは外洋に面したスロープなどの流速が早く、海水温が相対的に低い環境を好んでいた。2種は産卵期が約1ヶ月ずれているために同所的な海域でも交雑が限定されていることが分かった。個々の種内の遺伝子流動は非常に限られており、石西礁湖周辺海域では、石垣島の南西の海域を除き、ほとんどの集団間で集団が有意に分化しており、アオサンゴの短い幼生分散期間に起因すると考えられた。HC-Aは1990年代に初めて屋久島で最北限に分布する群体が3群体のみ見つかった。

クシハダミドリイシでは既存研究により、種内で異なる遺伝的クレードが存在していることが確認されている (Lauder and Pulmbi 2012, Suzuki et al. 2016)。そのため、まず、日本国内の黒潮流域に存在する隠蔽的遺伝クレードの分布を明らかにした。ベイズ法を用いたクラスタリング解析により、クシハダミドリイシの遺伝的クレードの推定を行った結果、本解析では3つの遺伝的クレードが確認され、そのうちのひとつが温帯域まで分布していた。そのため、1つの系統については、温帯域が避難所となり得ることが示唆された。一方、屋久島以南と以北では遺伝分化係数が大きいこと、直接の亜熱帯域から熱帯域への加入はあまり多くないと考えられた。石西礁湖内には、異なる2系統が存在することが確認された。石西礁湖周辺ではどちらの系統内でも、有意な遺伝分化係数を持っており、弱い遺伝構造をもつことが確認された。それぞれの系統で遺伝障壁を調べたところ、石垣島と石西礁湖の間および西表島南部の東西で両系統ともに遺伝障壁が現れたため、これらの海域を個々に保全することが有効であると考えられた。黒潮に沿った温帯域まで含む集団では、屋久島以北の集団は屋久島以南の集団よりも遺伝的多様性が低いこと、さらに過去40年で北上が認識された集団の遺伝的多様性は他の温帯域の集団よりも低く、環境変化に対しやや脆弱性を秘めている可能性が示唆された。一方ボトルネック検定では全ての集団において有意にならず、一度北上して加入してからは比較的安定した再生産を繰り返していることが示唆された。また比較的最近に北上してできた五島列島の集団は、周辺海域からの幼生加入の可能性が低く、クローン率も高いことから、太平洋側で北上しているが周辺集団と遺伝的組成の近い式根島よりも、地域絶滅した場合の回復には長い時間を要する可能性があると考えられた。

キーワード：サンゴ礁、コネクティビティ、遺伝子流動

Keywords: coral reefs, connectivity, gene flow

Evidence of chronic anthropogenic nutrients within coastal lagoon reefs, adjacent to urban and tourism centers, Kenya: A stable isotope approach

Mwaura Jelvas², *梅澤 有¹、中村 隆志³、Kamau Joseph²

Jelvas Maina Mwaura², *Yu Umezawa¹, Takashi Nakamura³, Joseph Kamau²

1. 長崎大学、2. ケニア海洋水産研究所、3. 東京工業大学

1. Nagasaki University, 2. Kenya Kenya Marine & Fisheries Research Institute, 3. Tokyo Institute of Technology

The sources of anthropogenic nutrients and its spatial extent in three fringing reefs with differing human population gradients in Kenya were investigated using stable isotopes approaches. Nutrient concentrations and nitrate $\delta^{15}\text{N}$ in seepage water clearly indicated that population density in the catchment and tourism along the coast contributed greatly to the extent of nutrient loading through the groundwater to adjacent reefs in Kenya. Although water column nutrient analyses did not show any significant difference among the 3 studied reefs, the chemical contents (i.e., $\delta^{15}\text{N}$ and N contents) in the macroalgae and complementary use of seagrasses and sedimentary organic matter clearly indicated the different nutrient regime among the sites in higher special resolution. Higher $\delta^{15}\text{N}$ and N contents in macrophytes showed terrestrial nutrients affected primary producers at onshore areas in Nyali and Mombasa reefs, but were mitigated by offshore water intrusion especially at Nyali. On the offshore reef flat, where the same species of macroalgae were not available, complementary use of $\delta^{15}\text{N}$ in sedimentary organic matter suggested input of nutrients originated from the urban city of Mombasa. If population increases in future, nutrient conditions in shallower pristine reef, Vipingo, may be dramatically degraded due to its stagnant reef structure. This study represent the first assessment of the Kenyan coast that integrates water column nutrients and macrophyte $\delta^{15}\text{N}$ analyses, showing direct evidence of the use of terrestrial nutrients by macrophyte and providing basic information for surveying the link between anthropogenic enrichment and ecosystem degradation including macroalgae proliferation in nearshore reefs.

キーワード：人為起源物質、安定同位体比、ケニアサンゴ礁、大型藻類

Keywords: anthropogenic nutrient, stable nitrogen isotope, Kenyan coral reefs, macroalgae

西表島崎山湾におけるサンゴ分布の底面流速と土粒子量との関係 Relationship of coral distribution with bottom flow speed and soil particle quantity in Sakiyama Bay, Iriomote Island, Japan

*下川 信也¹、河野 裕美²、村上 智一¹、宮内 星七²、鈴木 舞弓²、水谷 晃²

*Shinya Shimokawa¹, Hiroyoshi Kohno², Tomokazu Murakami¹, Seina Miyauchi², Mayumi Suzuki², Akira Mizutani²

1. 防災科学技術研究所、2. 東海大学

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Tokai University

西表島崎山湾におけるサンゴ分布と物理環境との関係を明らかにすることを目的として、調査研究を実施した。まず、湾内72地点における群体形状別サンゴ被度分布と群集タイプ別サンゴ分布域の現地調査を行い、次に、湾域の夏季と冬季の平均的な気象場における数値シミュレーションによる海洋流速場と土粒子数分布の計算結果を解析し、現地調査で得られたサンゴ分布と比較した。

崎山湾では、卓状、葉状、被覆状サンゴは礁縁に、枝状サンゴは礁縁と湾口部に、塊状サンゴは湾口部から湾中央部に、主に分布していた。サンゴの群体形状別の出現地点数と平均被度は、枝状サンゴが41地点において39%、卓状サンゴは28地点において15%、塊状サンゴは47地点において7%、葉状サンゴは19地点において6%、被覆状サンゴは25地点において7%であった。

崎山湾では、7か所の枝状サンゴ群集と4か所の卓状サンゴ群集が確認された。枝状サンゴ群集中のサンゴの枝の生きているところから頂点までの長さや根元の幅の平均値を元に、枝状サンゴ群集を長い枝状、短い枝状、短く細い枝状に分類した。長い枝状、短い枝状、短く細い枝状、卓状サンゴ群集の主な分布場所・群集数・面積は、それぞれ礁縁からやや湾内側に入った湾口部・2群集・16ha、波あたりの強いリーフ上・4群集・11ha、湾中央部東岸寄りの直径約200mで水深13mの礁池を取り囲むように存在・1群集・2ha、最も波あたりの強いリーフ上・4群集・4haであった。また、湾中央部から湾奥部にかけては、水深約1.2m程度以下の非常に平坦な海底地形となっており、その領域では、ウミシヨウブが広く分布していた。

群体形状を区別しない全サンゴ被度分布は、おおまかに湾口部から湾中央部で30%以上、湾中央部から湾奥部にかけてのウミシヨウブ分布域で30%未満、湾の最奥部で0%であった。そこで、調査地点を、サンゴ被度が0%、1%-30%、30%以上の地点に分類し、物理環境（底面流速と土粒子数）との対応関係を見た。

底面流速は、季節によらず、卓状、短枝状、短細枝状、長枝状の順に大きく、またサンゴ被度30%以上、1-30%、0%の地点の順に大きく、特に冬季の底面流速は、被度30%以上の地点では、被度0%の地点の約2倍程度あることがわかった。また、土粒子数は、季節によらず、また粒径によらず、被度0%の地点で極端に多く、サンゴが生息する地点では、被度1%-30%の地点の方が30%以上の地点より多いことがわかった。

結果をまとめると、以下ようになる。1) サンゴ生育場所の底面流速が大きいほど、サンゴ被度が高い。また、群集タイプにより、底面流速が異なる。2) サンゴ生育場所の土粒子数が多いほど、サンゴ被度が低い。また、土粒子数が多い場所では、主としてウミシヨウブが生育している。

参考文献：

村上智一・鶴飼亮行・河野裕美・水谷晃・下川信也・中瀬浩太・野口幸太・安田孝志、2012、西表島網取湾の造礁サンゴの分布とその物理環境の関係、土木学会論文集B3（海洋開発）、68、I_1133-I_1138。

Shimokawa, S., T. Murakami, A. Ukai, H. Kohno, A. Mizutani and K. Nakase (2014b): Relationship

between coral distributions and physical variables in Amitori Bay, Iriomote Island, Japan, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 119, 8336-8356 (doi: 10.1002/2014JC010307).

下川信也・河野裕美・村上智一・水谷晃・柴山拓実・山本結子・鶴飼亮行・中瀬浩太, 2015, 西表島網取湾における塊状サンゴの分布と物理環境の関係, *土木学会論文集B3 (海洋開発)*, 71, 969-974.

下川信也・河野裕美・村上智一・宮内星七・鈴木舞弓・水谷晃, 2016, 西表島崎山湾における造礁サンゴの分布とその物理環境との関係, *土木学会論文集B2 (海岸工学)*, 72, 1435-1440.

キーワード：造礁サンゴ、流速、土粒子、西表島、崎山湾・網取湾自然環境保全地域

Keywords: reef building coral, wind speed, soil particle, Iriomote Island, Sakiyamawan-Amitoriwan nature conservation area

A dynamic model to assess mariculture-induced environmental impacts on seagrass beds along coasts of Bolinao and Anda, Philippines

*Yoshikai Masaya¹, Takashi Nakamura¹, Yoshiyuki TANAKA², Masahiro Nakaoka³, Atsushi Watanabe¹, Toshihiro Miyajima⁴, Eugene Herrera⁵, Ariel Blanco⁵, Miguel Fortes⁵, Maria San Diego-McGlone⁵, Kazuo Nadaoka¹

1. Tokyo Institute of Technology, 2. Hachinohe Institute of Technology, 3. Hokkaido University, 4. The University of Tokyo, 5. University of the Philippines

A dynamic model which reproduces the physical and biogeochemical environmental conditions and associated factors, can be an effective tool in determining coastal management strategies in an area influenced by intensive human activities. The outputs of the model suggest the need for proper assessment of the effectiveness of coastal management efforts which is made difficult by multiple environmental stressors such as pollutant discharge from rivers and from unregulated mariculture, the effects of which vary in space and time.

Seagrass beds are found in many coastal areas and their responses are regarded as key indicators of ecosystem health, are nursery grounds for fishes and invertebrates, and are major sources of primary production in coastal waters. However, their recent disappearance along many coastal areas in the world caused by anthropogenic stressors has become a serious global concern.

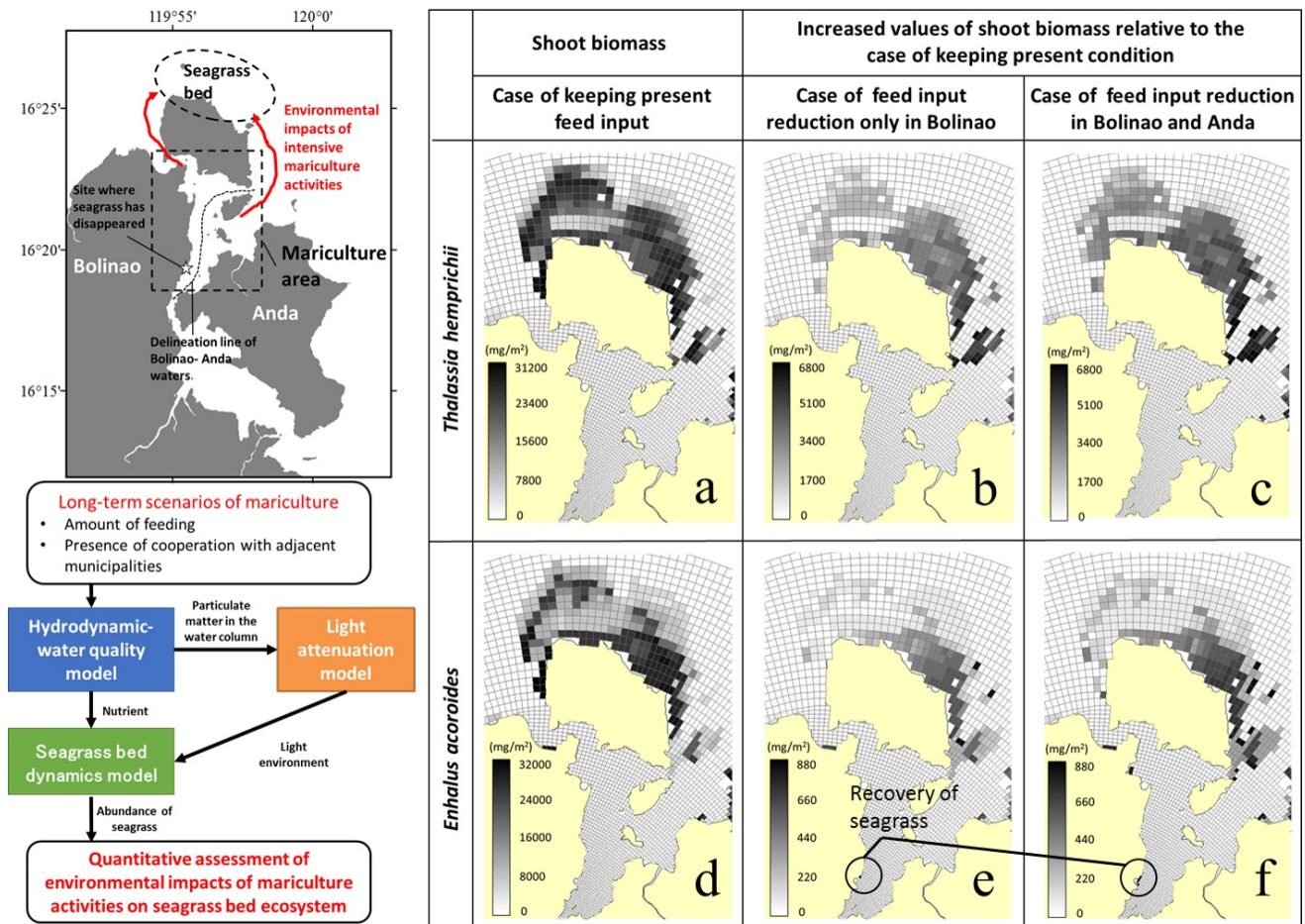
Our study site is located along the coastal towns of Bolinao and Anda in northwestern part of Luzon Island in the Philippines. Bolinao alone has at least 34 sq.km. seagrass area, an important resource for local communities as habitat of local fishes and invertebrates of economic value. However, the coastal waters of Bolinao and Anda are also a sites where mariculture has intensified. The area is known as one of the top producers of Chanos chanos (milkfish), an important food fish in the Philippines. The unregulated milkfish culture characterized by high feed input resulting in feed wastage, and proliferation of fish farm structures continue to degrade water quality in the area. Nutrient enrichment have resulted in excessive growth or blooms of phytoplankton and reduced light availability for the seagrass bed. Such environmental impacts due to excessive mariculture activities led to the decline and loss of seagrass species number and area at the site.

In order to assess the mariculture-induced environmental impacts on the seagrass bed ecosystem, a modeling system was developed to reproduce the spatial and temporal variation of water quality and associated light environment at the site, and evaluate the ecosystem responses to the environmental stressors. The modeling system is composed of a hydrodynamic-water quality model, a light attenuation model, and a seagrass bed dynamics model that computes seagrass growth using mass balance equation. This seagrass model was applied to *Thalassia hemprichii* (*Th*) and *Enhalus acoroides* (*Ea*), which are dominant seagrass species in the area. Results of the model indicate good agreement between observed and modeled values of seagrass biomass for *Th* and *Ea*, with coefficient of determination $R^2=0.68$ and 0.53 , respectively.

To help implement proper mariculture regulation to conserve the seagrass ecosystem, the effectiveness of feed reduction was assessed by testing feed reduction scenarios for different combination of target areas. The results demonstrate that decreasing feed amount is an effective way to improve light conditions in the reef area. Results show that by reducing the feed amount in Bolinao alone, the biomass of both *Th* and *Ea* will increase (figure b, e), relative to the case of keeping present feed input amount (figure a, d), and there is recovery of seagrass in the mariculture site where seagrass has disappeared (figure e, area enclosed by

a circle). However, a remarkably greater increase in biomass and wider area of seagrass recoveries will happen if feed reduction is carried out by both Bolinao and Anda (figure c, f). These results clearly suggest the importance of mariculture management efforts through inter-municipality cooperation. The model can thus provide technical information that will be useful input to coastal management schemes for a sustainable coastal ecosystem.

Keywords: seagrass bed modeling, hydrodynamic-water quality model, eutrophication, mariculture, coastal management



沿岸生態系の経済評価：持続的な利用と保全の両立に向けて

Economic valuation of coastal ecosystem: balancing sustainable use and conservation

*久保 雄広¹

*Takahiro Kubo¹

1. 国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター

1. Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies

Coastal ecosystem is one of the most valuable ecosystems on Earth; however, the ecosystem faces various threats from environmental changes due to anthropogenic activities and natural events including climate change. To conduct the sustainable management, the recognition of benefits from the ecosystem has become increasingly essential.

The objectives of this paper are to provide a review of the environmental valuation studies concerning coastal ecosystem and introduce some contributions of the economic analysis to sustainable coastal management and the associated policies. Furthermore, this paper illustrates two empirical environmental valuation studies of coastal ecosystem in Amami Islands, Japan. One addresses recreational values of the ecosystem; the other shows residents' preference for climate change adaptation in the coastal areas. The review and the findings of empirical studies point out that integrating economic values into decision-making is still challenging. Further work is required to establish integrated approaches considering local ecosystem management.

キーワード：沿岸生態系、環境評価、経済分析、生態系サービス、島嶼、持続的利用

Keywords: Coastal ecosystem, Environmental valuation, Economic analysis, Ecosystem service, Islands, Sustainable use

Dissolved carbon dynamics in rivers and coastal areas of the Philippines: evaluation of terrestrial inputs using dissolved inorganic carbon stable isotopic composition

*Naoko Morimoto¹, Atsushi Watanabe², Yu Umezawa³, Maria Lourdes San Diego-McGlone⁴, Charissa M. Ferrera⁴, Toshihiro Miyajima¹

1. Department of Chemical Oceanography, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Department of Transdisciplinary Science and Engineering, School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, O-okayama 2-12-1 W8-13 Meguro, Tokyo 152-8552, Japan, 3. Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo, Nagasaki 852-8521, Japan, 4. Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

River load of anthropogenic materials is one of key sources for degradation of coastal habitats as with aquacultures. They change coastal water quality directly and indirectly, and local multiple organic sources such as mariculture fish feeds/feces, resuspended sediment and coral mucus complicate those influences. To assess the effect of allochthonous inputs, isotope signatures of dissolved inorganic carbon (DIC) and particulate organic matter (POM) were examined to identify sources and their loading processes. In Bolinao, where mariculture is densely deployed in semi-closed embayment, $\delta^{13}\text{C-DIC}$ and $\delta^{13}\text{C-POC}$ values of river water were almost similar between the wet and dry seasons, and were decreased as decreasing salinity. However, the relationship between $\delta^{13}\text{C-DIC}$ and $\delta^{13}\text{C-POC}$ was unclear. In the coastal area, large decrease of salinity was observed in the wet season. The negative correlation between salinity and each parameter suggests that river inputs mainly decreased $\delta^{13}\text{C-DIC}$ (-5.8‰) and $\delta^{13}\text{C-POC}$ (-28.5‰) in the wet season. In the dry season, mariculture, maybe fish feeds/feces, was mainly attributed to the decrease of $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values especially in the surface layer through their decomposition. In contrast, in Iloilo, where some rivers input to the strait among islands, the character of river $\delta^{13}\text{C-DIC}$ and $\delta^{13}\text{C-POC}$ was similar as Bolinao. In coastal area, the decrease of $\delta^{13}\text{C-DIC}$ was not so serious in the wet season (-1.4‰) compared to Bolinao, however low $\delta^{13}\text{C-POC}$ value was observed in the bottom layer (-27.7‰). It may be ascribed to resuspension of settled materials which was originated from river inputs. We try to unravel their underlying multiple processes and discuss the relationship between river and coastal area in terms of dissolved carbon dynamics in those areas.

Keywords: terrestrial inputs, stable isotopic composition, dissolved inorganic carbon, particulate organic matter, tropical coastal area

現場チャンバー実験によるサンゴ礁一次生産者の光合成、石灰化および有機炭素・窒素フラックスの測定

Photosynthesis, calcification, and organic carbon and nitrogen fluxes from coral reef primary producers measured with in-situ chamber experiments

*渡邊 敦¹、中村 隆志¹、中野 義勝²、灘岡 和夫¹

*Atsushi Watanabe¹, Takashi Nakamura¹, Yoshikatsu Nakano², Kazuo Nadaoka¹

1. 東京工業大学 環境・社会理工学院、2. 琉球大学 熱帯生物圏研究センター

1. School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, 2. Tropical Biosphere Research Center, University of the Ryukyus

サンゴ礁の主要一次生産者の光合成、石灰化、および有機炭素・窒素フラックスを現場チャンバー実験により測定した。主要一次生産者として2種の造礁サンゴ (*Acropora pulchra*と*Porites cylindrica*)、海草藻場、大型藻類 (*Sargassum* sp.)、砂地の5つを選び、沖縄県石垣島の白保サンゴ礁で実験を実施した。実験は2012年7-8月 (2種のサンゴおよび砂地) および10月 (海草藻場および大型藻類) に、各群集を対象に24時間 (2時間×12回) 実施した。光合成および石灰化速度は採水した炭酸系 (全アルカリ度および全炭酸) の分析とチャンバー内にてセンサーを使用して1分間隔で測定したpH-DOデータを用いて算出した。採水試料の全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN) および栄養塩 (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) 分析から有機炭素、窒素フラックスを算出した。

日中の光合成速度は砂地を含め、光合成有効放射 (PAR) に応答し変化した。暗呼吸は日没直後に最大となり、その後夜間に減少した。この傾向はチャンバー内水温の減少と対応していた。日中の石灰化速度は2種のサンゴでPARに明瞭に応答し、また砂地および大型藻類はやや正の石灰化速度を示したが、海草藻場は負の値を示し炭酸塩の溶解を示した。夜間においてはサンゴ2種の石灰化速度はpHの減少とともに減少傾向を示し、夜間の石灰化速度は*A. pulchra*の方が*P. cylindrica*より有意に高かった。砂地ではpHが8.1を下回ると溶解が確認され、海草藻場では砂地より大きな溶解がpHによらず確認された。これは海草藻場では、海草由来の有機物の分解により炭酸塩の溶解が促進されていることを示唆する。

有機物フラックスに関しては、*A. pulchra*は日中に夜間と比べて大きなTOC放出速度が確認された。海草藻場および大型藻類は昼夜を問わずTOCを放出しており、その放出速度はサンゴ2種より大きかった。有機窒素の放出速度も海草藻場や大型藻類でサンゴ2種より大きな値を示した。これらの観測結果は、海草藻場や大型藻類が隣接する群集に対して重要な有機炭素・窒素供給源になっていることを示唆している。

キーワード：サンゴ礁、一次生産者、光合成、石灰化、チャンバー実験

Keywords: Coral reef, Primary producers, Productivity, Calcification, Benthic chamber

石垣島川平湾におけるサンゴの白化現象と濁りによる死滅の回避

The high turbidity reduced mortality of coral bleaching in Kabira Bay, Ishigaki Island

*矢代 幸太郎¹、金城 孝一²、中村 由行³

*Kotaro Yashiro¹, Koichi Kinjo², Yoshiyuki Nakamura³

1. 横浜国立大学大学院都市イノベーション学府／株式会社東京久栄、2. 沖縄県衛生環境研究所、3. 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院

1. Department of Urban Innovation, Yokohama National Univ. / Tokyo Kyuei Co., Ltd., 2. Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment, 3. Institute of Urban Innovation, Yokohama National Univ.

川平湾は沖縄県石垣島の北西部に位置する湾口から湾奥まで約1.5 km、幅約0.5–1 kmの小規模な内湾である。湾口は大小の島々で塞がれ、狭く浅い水道によって外海に通じる閉鎖的な環境にある。湾内は静穏で、湾奥部を中心にシルト分の多い底質が広がっている。近年、地元住民等から、湾内の透明度の低下、有藻性イシサンゴ（以下、サンゴ）群集の衰退が指摘されている。

2012–2013年に川平湾のサンゴ群集の現況調査を行った。繊細な構造の枝状・洗瓶ブラシ状ミドリイシは、1970年代後半には湾内東岸のほぼ全域で優占種となっていたが（堀越 1979）、現在はその大半が失われ、湾中央部では死滅してサンゴ礫となっていた。一方で、湾奥部の水深2–6 mでは生残し、高被度で分布していた。

死滅の要因について、水温連続観測データ、航空写真、周辺海域のサンゴ群集モニタリングデータ、地域情報に基づいて考察すると、湾内で2007年の夏季に高水温による大規模な白化が起き、広範囲でサンゴ群集が死滅したと考えられた。湾奥部もこの高水温に曝されたが、何らかの要因で死滅が回避されたと考えられる。

死滅の回避要因について、高水温が緩和した可能性を検討した。2006–2011年の湾奥部の水温は、毎年7月ごろに30°Cを超え、集中豪雨により2°C程度低下して数日後に戻る変動がみられた。湾奥部の水深5 m層では100 mm/日以上降雨で1.5±0.6°C（3日間の平均±標準偏差）水温が低下したが、集中豪雨が無い場合はほとんど水温変動がなかった。2013年8月27日–9月30日に実施した水温連続観測（期間中の降雨は最大15 mm/日）では、水深5 mの水温は湾中央部で28.7±0.7°C（期間平均±標準偏差）、湾奥部で28.7±0.8°Cと差がなかった。これらのことから、川平湾において湾奥部のみが低温となるには、集中豪雨が頻繁に降ることが条件となると考えられた。2007年の大規模白化が起きた期間、集中豪雨は60 mm/日が1日観測されたのみで、湾奥部において継続的に水温が低下した可能性は低い。従って、死滅の回避は、高水温の緩和以外の要因によると考えられる。

白化による死滅を低減させる要素に、濁りによる減光がある。Goreau et al. (2000)は、1998年の大規模白化において、濁った場所で白化による死亡率が低かったことを報告した。濁りは、原因物質である浮遊懸濁物質（以下、SS）が光を散乱させるなどして光ストレスを低減し、白化による死亡率を下げる場合がある。

川平湾の湾奥部は恒常的に濁度が高い環境にあった。2013年8月27日–9月30日に実施した濁度の連続観測では、観測を行った全ての水深層で湾奥部の濁度が最も高かった。水深5 mの太陽光の強度は、湾中央部では海面の約6.5%であるが、湾奥部では約2.7%と顕著に低下しており、濁りによる減光が認められた。また濁度の連続観測では、湾奥部において日中の干潮時に濁度が上昇する傾向がみられた。この現象は、水位低下に伴う風波による巻き上げや、干潟に堆積した赤土等のSSとしての移送と考えられた。日中の干潮時は日射による影響が最も強い条件であり、濁りによる減光の効果はさらに高いと判断できる。

一方、濁りはSSで10–20 mg/lになると枝状ミドリイシが白化するといった阻害的な影響を誘引する(Erftemeijer et al. 2012)。湾奥部の濁度は平均で約2 FTUで、SS換算では2.3 mg/lであった。これらのことから、川平湾の湾奥部の濁りは、減光の効果がありつつ阻害的影響が起きない範囲にあったと考えられる。

近年、湾奥部において赤土等の流入量が増加したという指摘があり、白化による死滅の回避が起きやすかったと考えられる。赤土等の流入量を調整してサンゴ群集に好適な濁り条件を維持できれば、頻発する白化からサンゴ群集を守る保全方策となり得る。

引用文献

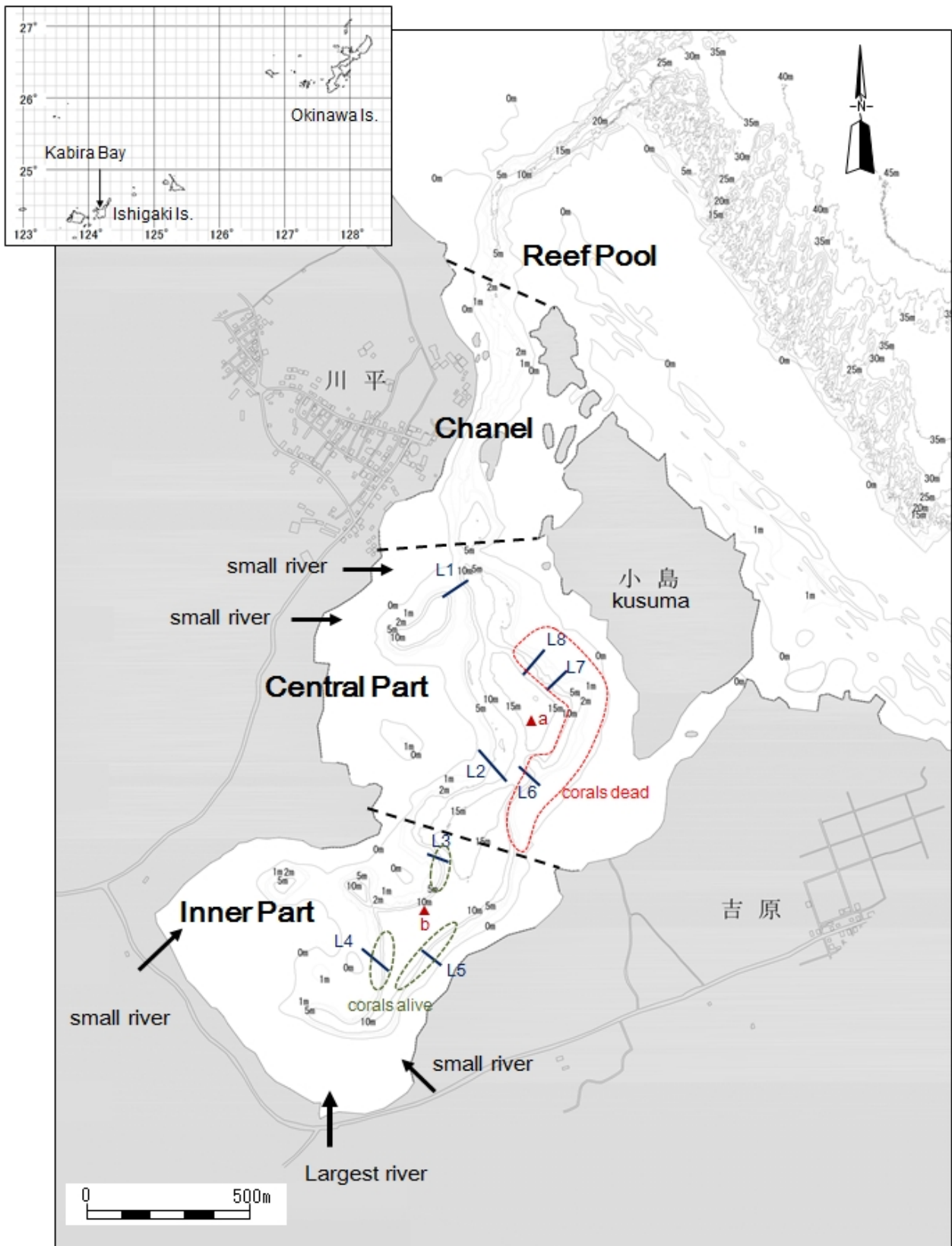
Erftemeijer et al. (2012) *Mar. Pollut. Bull.* 64, 1737-1765

Goreau et al. (2000) *Conserv. Biol.* 14, 5-15

堀越 (1979) *環境科学としての海洋学3*, 東海大学出版, 東京, 145-169

キーワード : 石垣島川平湾、枝状・洗瓶ブラシ状ミドリイシ、白化、濁り

Keywords: Kabira Bay, Acroporidae, Coral bleaching, Turbidity



東北地方太平洋沖地震の津波により分布が減少した岩手県大槌湾湾奥部のアマモ場の回復状況の検証

Verification of Seagrass Beds recovery in the inner part of Otsuchi Bay, Iwate prefecture, where the distribution decreased due to the tsunami associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

*田中 義幸¹、福田 秀樹²、宮島 利宏³

*Yoshiyuki TANAKA¹, Hideki FUKUDA², Toshihiro Miyajima³

1. 八戸工業大学 基礎教育研究センター、2. 東京大学 大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センター 沿岸保全分野、3. 東京大学 大気海洋研究所 海洋地球システム研究系 生元素動態分野

1. Center for Liberal Arts and Sciences, Hachinohe Institute of Technology, 2. Coastal Conservation Section, International Coastal Research Center, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. Marine Biogeochemistry Group, Division of Ocean-Earth System Science, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

これから書きます

キーワード：回復、アマモ

Keywords: recovery, *Zostera marina*

沿岸域の底質中に存在するアマモ (*Zostera marina*) DNAの定量分析法 Quantitative DNA assays for detecting *Zostera marina* DNA in coastal Sediments

*堀 正和¹、浜口 昌己¹、島袋 寛盛¹、吾郎 吉田¹、宮島 利宏²

*Masakazu Hori¹, Masami Hamaguchi¹, Hiromori Shimabukuro¹, Goro Yoshida¹, Toshihiro Miyajima²

1. 国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所、2. 東京大学 大気海洋研究所 海洋地球システム研究系
1. National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research and Education Agency,
2. Division of Ocean-Earth System Science, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo,

The sequestration of organic carbon (OC) in seagrass meadows has been attracting more attention as global actions to climate change mitigation and adaptation increase. A direct method to detect *Zostera marina* DNA in coastal sediments, which is essential to unravel long-term *Z. marina*-derived OC accumulation, was developed as an environmental DNA (eDNA) detection techniques. Quantitative real-time PCR (qPCR) and droplet digital PCR (ddPCR) were applied to quantify ancient *Z. marina* DNA in coastal sediments, using specifically-designed dual-labeled probes (DLPs) and primers for one nuclear and one chloroplast gene. Suitable pretreatments and methods for extracting *Z. marina* DNA from coastal sediments were examined and their applicability to environmental samples was determined. Surface sediments collected from *Z. marina* meadows contained about 2000 times more DNA than the adjacent unvegetated tidal-flats in the Seto Inland Sea. Moreover, both qPCR and ddPCR successfully detected *Z. marina* DNA in ancient sediments (up to 5000 calibrated years before present (yr cal BP)), evidencing that *Z. marina* DNA can be sequestered in temperate coastal sediments for several millennia. In addition, qPCR and ddPCR results obtained in the present study were highly correlated, although the later was more accurate than qPCR, particularly at low eDNA concentrations and in PCR inhibitor-rich samples. Thus, the present study sets the basis for clarifying the process of *Z. marina*-derived OC sequestration and demonstrates that seagrass meadows have been present in the Seto Inland Sea for at least 5000 years.

キーワード：ブルーカーボン、海草アマモ、環境DNA

Keywords: Blue carbon, Seagrass, eDNA

重水素標識法に基づく海草藻場食物網構造とその環境変動応答の解析技術の開発

Application of deuterium tracer techniques to food-web analysis of seagrass meadows

*宮島 利宏¹、堀 正和²、佐藤 允昭²、濱岡 明子²、濱岡 秀樹²

*Toshihiro Miyajima¹, Masakazu Hori², Masaaki Sato², Akiko Hamaoka², Hideki Hamaoka²

1. 東京大学 大気海洋研究所 海洋地球システム研究系、2. 水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所

1. Division of Ocean-Earth System Science, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research and Education Agency

沿岸海洋生態系の生物群集は、現地性・異地性の多様な資源の供給に依存した生活を営んでいる。生物群集に最初に供給される炭素・エネルギー源をbasal resource（基底資源）と呼ぶことにすると、例えばアマモ場生物群集の場合、アマモ自体、アマモに付着する微細藻類、堆積物表面の底生藻類など、現地性の基底資源に加えて、プランクトン由来の懸濁・沈降有機物粒子や、陸域・沿岸湿地等に由来する有機物など、立地条件に応じて多様な異地性の基底資源が供給されていることがわかる。各基底資源は化学的な反応性や元素組成が異なるため、そこから出発する食物連鎖の回転時間や転換効率もまた基底資源ごとに大きく異なっている。このように、異なるダイナミクスを持つ複数の基底資源が生物群集に供給されているという事実が、生態系の安定性や復元力に大きな影響を与えていると考えられている。

安定同位体比マッピングや消化管内容物分析等の従来の食物網研究法は、どの生物がどの基底資源から発する連鎖上にあるかという関係を解明するためには有効な方法であるが、単独では各連鎖系のダイナミクスを明らかにするための直接的な手段とはなりにくいという弱点を持っている。一方、微生物やプランクトンの生態学研究の分野では、回転時間や転換効率を実測するための手法として、放射性同位体や濃縮安定同位体を応用したトレーサー実験の技術が広く普及している。そこで本研究では、海草藻場生物群集における基底資源ごとのダイナミクスを解明するための一手法として、同位体トレーサーによるパルス・チェイス法をメソコスム実験に応用することを試みた。トレーサーとしては重水素 (²H) を使用し、海草藻場のマクロベントス（体長1 mm以上の底生動物）群集における現地性基底資源（海草自体とその付着藻類）の利用状況を解析する場合に適用した。

初めに予備実験として、亜熱帯性海草の *Thalassia hemprichii* と *Cymodocea rotundata* を ²H, ¹³C, ¹⁵N で同時にパルス・ラベルして海草への取込と転流のパターンがこれらの元素間でどのように異なるかを調べた。また同様に三種類のラベルをした海草と付着藻類を底生動物に摂食させ、動物による同化率が元素間で異なるかを調べた。次に本実験として、同じ海草種と *Syringodium isoetifolium* を重水素単独でラベルして底生動物に摂食させた。重水素標識は他の元素の安定同位体比には影響しないので、各動物種の食物網における位置を従来の C-N 安定同位体比マッピングで推定し、同時に同じ試料の水素同位体比を用いてラベルされた資源のその動物による利用率を推定するという複合的なアプローチが可能になる。さらに応用例として、二酸化炭素負荷による酸性化メソコスムを利用して、アマモとその付着藻類を起点とする食物連鎖系が酸性化によってどのような影響を受けるかを解明することを目的とした実験に本手法を応用することを試みた。今回の発表では、これらの実験の方法と得られた結果の概要を説明すると共に、重水素をトレーサーとして用いる場合の技術的な問題点とその考えられる回避策についても論じる。

キーワード：食物網解析、パルス・チェイス実験、安定同位体マッピング、沿岸域底生生態系、生態系機能、メソコスム

Keywords: Food web analysis, Pulse-chase experiment, Stable isotope mapping, Coastal benthic ecosystem, Ecosystem functioning, mesocosms

