

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(生物資源研究分野「生物資源の持続可能な生産・利用に資する研究」領域)

## フィリピン国統合的沿岸生態系保全・適応管理

(フィリピン)

平成 24 年度実施報告書

代表者：灘岡 和夫

東京工業大学 大学院情報理工学研究科・教授

<平成 21 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

生物多様性が豊かな東南アジア沿岸域では、人為的環境負荷や地球環境変動の影響が複合的に作用することによって、生態系の劣化が急速に進行しつつある。本プロジェクトでは、フィリピンの沿岸生態系を対象として、高い生物多様性と防災機能を安定的に維持し、かつ、地域コミュニティの持続的発展を可能とするための新たな沿岸生態系保全管理スキームを構築・展開することを目指す。具体的には、フィリピンにおける沿岸生態系の生物多様性維持機構を明らかにするとともに、環境ストレスの実態を包括的に評価し、多重ストレス下の生態系応答・回復過程や、ストレスをもたらす地域コミュニティの社会経済構造を分析する。それらを踏まえて、ストレス制御や沿岸生態系回復力強化に有効な地域コミュニティ管理や MPA(海洋保護区)ネットワーク等のあり方を提示することを目的とする。

H21年6月からの暫定研究期間を経て、H22年2月25日にR/Dが締結され、同年3月1日から、SATREPSスキームによる5年間プロジェクトである本プロジェクトが正式にスタートした。本プロジェクトでは、沿岸性生態系劣化の状況とその原因構造が異なる5つの重点調査研究サイトとして、1) Luzon 島 Bolinao 沿岸—Lingayen 湾および周辺流域、2)同 Laguna 湖—Manila 湾および周辺流域、3)Mindoro 島・Puerto Galera 湾—Verde Island 海峡、4)Panay 島沿岸—Guimaras 海峡および周辺流域、5)Mindanao 島 Naawan 周辺沿岸域および周辺流域、を設定し、さらに比較研究サイトとして 6)沖縄・石垣島東海岸リーフ海域および周辺流域を設定している。また、Panay 島北西端近くに位置する Boracay 島を重点調査サイトとして追加することが H24年11月に開催された第3回JCCにおいて承認された。このうちの1), 3), 4), 5)については、主として3月と9月に大規模な集中合同調査を実施してきており、2)に関しては Laguna 湖開発公社(LLDA)との協定の下に長期連続定点モニタリング等を実施している。また、Boracay に関しては、H24年5月と9月の予備調査以降、同年12月とH25年3月に調査を実施している。これらと並行して、さまざまな数値モデルの開発や、リモートセンシング/GIS 解析、reef connectivity 解析用遺伝子マーカー開発・分析、採水サンプル室内分析等が精力的に進められた。また、モデル・評価グループが中心となって、CCMS(Continuous and Comprehensive Monitoring System)のコアとなるプラットフォームの設置と種々のロガータイプ計測機器の実装を5重点サイトにおいて行い、モニタリングを開始している。さらに、やはり同グループが中心となって、本プロジェクトの主要な社会実装項目である IDSS (Integrated Decision Support System) の開発や Damage Potential Map の開発等を進めてきている。

本プロジェクトでは、日本側、フィリピン側双方ともさまざまな分野・研究機関の研究者が数多く参画していることから、メンバー間の十分な意思疎通を図り分野横断・統合的な調査研究計画を立てていくことが重要になる。そこで H22年6月に Bilateral Technical Workshop (BTW-1)、H23年6月に第1回 National Conference/Workshop、H24年11月に第1回 Regional Symposium を開催した。また、本プロジェクトでは沿岸生態系保全と地域コミュニティの持続的発展の両立を可能とする新たな沿岸生態系保全管理スキームの構築・展開とその社会実装を目指していることから、対象とする地域コミュニティの抱えている問題や要望の把握がきわめて重要になる。また現地調査を実施していく上で、地元の理解と協力が不可欠である。そこで、上記の Boracay を含む6重点サイトを中心に site-based workshop を数多く開催することにより、各地元のさまざまな関係者に対してプロジェクトの説明を行うとともに意見交換を行う機会を頻繁に持つように努めている。

本プロジェクトでは、人材育成も大きなテーマとして掲げている。H22、H23、H24年には、フィリピン側若手メンバー・RAをそれぞれ延べ5名、7名、9名日本に招へいし、現地計測・室内分析手法の習得や衛星画像解析技術、数値シミュレーション技術等のスキルアップを図る機会を提供するとともに、石垣島での合同調査への参加等を通してプロジェクトにおける各調査研究テーマに対する理解を深め、今後のプロジェクトの推進に際して主要な役割を担って頂けるように務めた。また2名のJICA長期研修員を博士課程学生として受入れ、さらに国費留学生2名

を受け入れ済みである。

また、一般の方々に本プロジェクトの活動を具体的に知って頂くとともに、環境・生態系保全に関わる現地の様々な問題点や日本の貢献の可能性などを学ぶ機会を提供することを目的として、HIS との共同で、Puerto Galera を訪問先とするエコ・スタディ・ツアーを H24 年 2 月に実施した。

## 2. 研究グループ別の実施内容

### 2.1 モデル開発・評価グループ(東京工業大学・灘岡和夫、高知大学・新保輝幸、港湾空港技術研究所・栗山善昭)

「統合モデル開発による多重ストレス環境変動の定量的評価と広域生態系応答予測」(Comprehensive assessment and prediction of multiple environmental stresses and ecosystem response based on an integrated simulation model system)

#### ① 研究のねらい

生態学グループや地球化学グループとの共同調査で得られる生物過程や物質循環等に関する現地調査データをベースとして、多重環境ストレスの包括的な評価と予測、及び生態系のストレス応答を定量的かつ包括的に評価するための統合モデルシステムを開発する。開発に当たっては、当該海域が、太平洋－インド洋結合海域に位置する超多島複雑海域であり、モンスーン・台風域という気象特性を有することから、それらを合理的に反映することが出来るこれまでにない多段階スケール統合物理流動・物質循環モデルシステムを開発する。そして、それらをベースとして、沿岸生態系への多重ストレスの包括的・定量的評価を可能とするモデル体系を構築するとともに、多重ストレスの下での生態系応答評価、さらには幼生分散過程モデルをカプリングさせることにより reef connectivity への多重ストレス影響の定量的評価と予測が可能なモデルシステムを開発する。さらに、様々な環境負荷の発生源に関わる地域コミュニティの社会・経済構造等の調査分析を行い、環境負荷発生の評価モデルの開発を行う。これらのモデル開発と関連する現地調査は、生態学グループや地球化学グループ、フィリピン側メンバーとの密接な連携のもとに進める。それらの成果に基づいて、5年間のプロジェクト期間の後半では、本プロジェクトの基本ミッションである「多重ストレス下での熱帯沿岸生態系の緩和・適応スキームの構築」に関わるいくつかの具体的なアウトプット、すなわち、

- a) ストレス緩和策立案のためのストレス生成・波及過程と熱帯沿岸生態系の環境収容力の合理的評価スキームの構築
- b) 沿岸生態系ネットワークにおけるコア・ハビタート同定および環境ストレス評価に基づく熱帯沿岸生態系の回復力強化策としての MPA ネットワーク設定とその維持・向上方策の提言
- c) 多重ストレス評価・予測に基づく熱帯沿岸生態系の広域的ダメージポテンシャルマップの作成
- d) 多重ストレス環境変動と生態系応答の常時モニタリングシステム(CCMS)の構築と現地展開
- e) 緩和・適応スキームの社会実装ツールとしての統合的意志決定支援システム(IDSS)の構築と運用のための人材育成
- f) 環境ストレス発生源および制御主体としての地域コミュニティの社会構造分析と統合沿岸管理

の達成に向けて、他グループやフィリピン側メンバーとともに重点的に取り組む。

#### ② 研究実施方法

### 1) フィリピン多島沿岸域を対象とした多段階スケール統合物理流動・物質循環・生態系応答モデル開発

リーフ・スケール<湾・海峡スケール<島全体スケール<フィリピン全域スケールという多段階スケールでのフィリピン多島沿岸域を対象とした物理流動・物質循環・生態系応答統合モデルシステムを開発する。5つの重点調査サイトおよびその周辺海域のうち、プロジェクト初期段階では、Mindoro 島・Puerto Galera 湾-Verde Island 海峡、Luzon 島 Bolinao 沿岸-Lingayen 湾、同 Laguna 湖-Manila 湾、Panay 島沿岸-Guimaras 海峡を主たる対象としてモデル開発を行う。また、比較研究サイトである沖縄石垣島東海岸リーフ海域を対象としたモデル開発も併行して行う。プロジェクト後半からは、Mindanao 島 Laguindingan 海岸およびその周辺域をモデル開発対象として加え、Boracay 島沿岸域を数値シミュレーション解析対象として加えている。さらに、海域モデルのみならず、隣接する流域からの陸源負荷モデル開発と、そのモデルを駆動するための降雨等の気象条件を与えるための地域気象モデルをリンクさせた「大気-陸域-沿岸域-海洋」統合物理流動・物質循環モデルの開発を行うことにより、多重ストレス評価・予測モデルのベースを構築する。陸源負荷モデルの開発対象としては、Laguna 湖-Manila 湾周辺流域、Lingayen Gulf 周辺流域(特に Agno 川流域)、Panay 島内流域、比較サイトとしての沖縄石垣島を当面の主対象とする。また、Luzon 島全体、Panay 島全体といったスケール、さらにはフィリピン全域を対象とした広域陸源負荷モデル開発を順次行う。さらに、上記海域モデルに幼生分散過程モデルをカプリングさせることにより多段階スケールでの reef connectivity 解析と多重ストレス影響の定量的評価・予測のためのモデルシステムを開発する。Connectivity モデル開発と応用解析にあたっては、生態学グループ A, Bと密接に連携を取る。Bolinao, Puerto Galera, Boracay および比較サイトの石垣島を中心に環境負荷の発生源に関わる地域コミュニティの社会・経済構造等の調査分析を行い、環境負荷発生の評価モデルの開発を行う。

### 2) フィリピンにおける現地調査

上記のモデル開発予定海域及び陸域に関して、モデル開発及び検証に必要となる現地データを取得するための海水流動、栄養塩・有機物等の水質動態、底質特性、陸源負荷動態、生物群集動態、生態系プロセス等に関する現地観測を地球化学グループや生態学グループ、フィリピン側メンバーと共同で実施する。H22 年は、3月上旬～中旬に Bolinao, Puerto Galera, Guimaras で予備的調査を実施し、また、6月には Mindanao 北部沿岸と Cagayan de Oro 川流域を視察した。そして、8月中旬～9月上旬に石垣島東海岸において、また9月中～下旬に Bolinao-Lingayen 湾および周辺陸域、Guimaras 海峡および周辺陸域、Puerto Galera-Verde Island 海峡において合同集中調査を実施した。H23 年の2月下旬～3月中旬と9月上旬～下旬、および H24 年の2月下旬～3月中旬に Bolinao-Lingayen 湾および周辺陸域、Guimaras 海峡および周辺陸域において合同集中調査を実施した。H25 年2月下旬～3月中旬に Laguindingan, Banate 湾で合同調査を実施した。さらに H23 年の8月中旬～下旬と H24 年7月下旬～8月上旬に石垣島東海岸で合同調査を実施した。追加重点調査サイトである Boracay に関しては、H24 年5月中旬(現地視察)と同年9月下旬(予備的調査)、12月中旬と H25 年3月中旬に調査を実施した。Laguna 湖に関しては Laguna 湖開発公社(LLDA)との協定の下に長期連続定点モニタリング等を実施している。

### 3) 相手国側研究メンバーの招聘

相手国研究参画機関の主要メンバーの一人であるフィリピン大学ディリマン校の Dr. Ariel Blanco を H22 年の8月中旬から9月上旬にかけて研究代表者の研究室(東京工業大学)に招聘し、その間、本プロジェクトの比較サイトの一つである沖縄・石垣島での合同現地調査への参加を通じて、地下水を中心とした陸源環境負荷に関する現地調査を実施するとともに、調査データの整理・解析を行った。また、陸源環境負荷評価モデル開発に関する検討を上記研究室で実施した。また、H22 年11月下旬から12月上旬にかけて、同氏を上記研究室に同氏の RA である Ms. Ayin Tamondong とともに再び招へいた。その間、両氏は H22 年12月上旬につくばで開

催された日本サンゴ礁学会第13回大会に参加し、関連する情報収集を行うとともに、Dr. Blancoは上記のH22年8月の石垣調査で得られたデータ等に基づいて成果発表を行った。そして、上記研究室において、Dr. Blancoは上記の陸源負荷評価モデルを中心としたモデル開発検討を進め、Ms. Ayin Tamondonghaは海草藻場の人工衛星マッピングや海草藻場を中心とした生態系モデル開発の予備検討を実施した。H23年には、Dr. Siringan, Dr. Blanco, Ms. Danica Mancenido, Ms. Ed Carla Tomoling, Mr. Lawrence Bernardoの5名を招へいし、沖縄石垣島の吹通川河口周辺沿岸域において、地下水流出に関する合同調査を実施した。また、フィリピン大学海洋研究所で修士課程を修了したMr. Lawrence Patrick C. Bernardoを文科省国費留学生としてH23年10月から受け入れた。H24年には、10月から、MSU-NaawanのAssistant ProfessorのMr. Dan Arriessgado、ならびにUP-MSIのRAのMs. Charissa FerreraをJICA長期研修員として招聘し、ともに東京工業大学の博士課程学生として受け入れた。このうちMr. Dan Arriessgadoは殆どの時間、東大・練氏の研究室で指導を受ける形とし、生態学グループBと密接に関わる形で活動している。またMs. Charissa Ferreraは1/3程度の時間を東大・大気海洋研の宮島氏のもとで指導を受ける形とし、地球化学グループと密接に関わる形で活動している。さらに同年10月にDr. Ariel Blanco, Mr. Jeark A. Principe, Ms. Sheryl Rose Reyes, Ms. Ed Carla Tomolingの4名を短期研修員として受け入れ、damage potential map 開発およびIDSS 開発に関する検討を行った。

さらに、Dr. Siringanを除くフィリピン側メンバー全員(Dr. McGlone, Dr. Fortes, Dr. Uy, Dr. Campos, Dr. Villanoy, Dr. Blanco, Dr. Herrera)をH23年7月の第1週に招へいし、東大大気海洋研究所、同アジア生物資源環境研究センター、東工大大学院情報理工学研究科、北大厚岸臨海研究所の日本側プロジェクトメンバーの研究施設を視察して頂いた。また、厚岸臨海研究所の視察には日本側メンバーのほぼ全員も出席し同研究所でプロジェクト会合を行うとともに、周辺での巡検を行った。さらに、同様の試みをH24年6月最終週に行い、フィリピン側メンバー全員(Dr. McGlone, Dr. Fortes, Dr. Uy, Dr. Campos, Dr. Siringan, Dr. Villanoy, Dr. Blanco, Dr. Herrera)を招へいして長崎大学において2日間にわたってプロジェクト会合を実施するとともに、長崎大学、高知大学の日本側メンバーの研究施設を視察して頂いた。また、長崎県・諫早湾干拓堤防や高知県・柏島などの沿岸生態系保全関連現地サイトの巡検を行った。

#### 4) 常時モニタリングシステム(CCMS)の構築・展開

包括的常時モニタリングシステム(CCMS)のコアとなるプラットフォームを5つの重点調査サイト(Bolinao(2地点)、Puerto Galera(2地点)、Laguna 湖(1地点、ただし仮説的構造物)、Bolinao(多点係留ブイ形式を採用)、Laguindingan(1地点))で全て設置完了し、運用を開始した。また、CCMSプラットフォームでの常時連続モニタリングに、定期的採水分析による水質モニタリングや生物学的モニタリングを加えたCCMSトータルシステムの確立と展開のための検討を生態学グループおよび地球化学グループとの共同で着手し、H24年12月からBanate湾ならびに周辺沿岸域においてUP VisayasのDr. Camposらのグループが中心となって定期的採水ならびに生物モニタリングを開始した。また、新重点調査サイトであるBoracayでは、同島で問題になっているWhite Beachの海浜浸食の常時モニタリングシステムとして、4地点で合計5つのCCTVカメラ(ウェブカメラ)を設置し、高波浪時の動的な海浜浸食過程とその前面での波動場の常時モニタリングを行うことを計画し、H25年3月末までにCCTVカメラの5台のうちの4台の設置が完了し運用を開始している。

#### 5) 統合的意志決定支援システムIDSSの開発・展開

IDSS(Integrated Decision Support System)の開発に関しては、すでにBanate湾およびその周辺沿岸域やLaguna湖を対象にパイロット・モデルの開発をほぼ終了しており、その内容の説明と現地での要望をIDSSのさらなる開発に反映させるためのワークショップをH25年3月にそれぞれBanateおよびUPS-MSIで実施した。Bolinao, Puerto Galera, Boracayに関しても今後開発を進める予定だが、これら全てのIDSSの開発に向けて、関連する数

値シミュレーションモデルの高度化・汎用化や種々のデータベース開発、リモートセンシング画像解析などを進めつつある。またこれらの IDSS にも反映される予定の Damage Potential Map の開発に向けての種々の検討を進めている。

#### 6) スタディ・ツアーの実施

一般の方々に本プロジェクトの活動を具体的に知って頂くとともに、環境・生態系保全に関わる現地の様々な問題点や日本の貢献の可能性などを学ぶ機会を提供することを目的として、HISとの共同で、Puerto Galeraを訪問先とするエコ・スタディ・ツアーをH24年2月16日から6日間の予定で実施した。このスタディ・ツアーでは、一般からの参加者に、本プロジェクトで活動している日本やフィリピンの専門家の案内で現地を見学して頂くだけでなく、地元の関係者やフィリピンの大学生、さらには沿岸環境・生態系保全研究に関わっている日本の大学生とチームを組んでフィールドビジット等を行って頂いた。それによって、通常のエコ・ツアーでは得られない新たなエコ・ツアーの可能性を示す、一つの高質なパイロット・モデルを実現することができた。

#### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

全体計画において本グループが主として担当しているテーマである「統合モデル開発による多重ストレス環境変動の定量的評価と広域生態系応答予測」(【成果3】)に関しては、後で示す5.2に詳述しているように、フィリピン多島沿岸域や比較サイトとしての沖縄・石垣島沿岸域を対象とした統合物理流動・物質循環モデルや陸源負荷モデル、生態系応答モデル、幼生分散解析モデルなど、種々のモデル群の開発に関して、全体計画よりある程度先行して進めてきており、既にかなり成果が得られつつある。今後、これらのモデル群のさらなる高度化と統合化を推進するとともに、さまざまな応用解析を行う予定である。また、関連する現地調査に関しても、Bolinao-Lingayen 湾やLaguna湖、Puerto Galera、Guimaras海峡、Laguindingan、Boracay、比較サイトの石垣島等でさまざまな現地データが得られつつあり、モデル開発／検証に活かされている。H23年度のJST追加予算により、全窒素・全リン分析ユニットや有機炭素分析装置(TOC,DOC分析用)、分光反射測定装置を導入することが出来、水質データ分析等を加速することが可能となった。

また、全グループが共同で取り組む「多重ストレス下での熱帯沿岸生態系の緩和・適応スキームの構築」(【成果4】)について、本グループでは、【活動4-1】や【活動4-3】に関わる沿岸域への複合ストレスの生成・波及過程のモデル化や【活動4-2】に関わる幼生分散シミュレーションに基づくreef connectivity解析等を進めている。さらに、本プロジェクトにおける主要な社会実装ツールとして位置づけている常時モニタリングシステム(CCMS)の構築と現地展開(【活動4-4】)および統合的意志決定支援システム(IDSS)の開発(【活動4-5】)において本グループは中心的な役割を果たしてきており、CCMSについては、先述のように、すでに5重点サイトでのCCMSの基盤的施設の設置を完了し(ただしLaguna湖は暫定構造物)順次運用を開始している。また、IDSSについては、すでにBanate湾およびその周辺沿岸域やLaguna湖を対象にパイロット・モデルの開発をほぼ終了しており、Bolinao、Puerto Galera、Boracayについても今後順次開発を進める予定である。また、IDSS開発に関連する数値シミュレーションモデルの高度化・汎用化や種々のデータベース開発、リモートセンシング画像解析などを進めつつあり、これらのIDSSにも反映される予定のDamage Potential Mapの開発に向けての種々の検討を進めている。

#### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

H22年4月の国内会合(日本側メンバーのみ)や、同年6月、9月、12月およびH23年6月の様々な現地合同会合での議論、H23年7月の厚岸でのプロジェクト合同会合、H24年1月の国内会合(日本側メンバーのみ)、H24年6月の長崎でのプロジェクト合同会合、および上記の招聘者らとの共同作業等を通じて、今後の共同研究を通じての技術移転のあり方や研修候補者の選定方法について検討した。

#### ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

Panay 島北西端近くに位置する Boracay 島を重点調査サイトとして追加することが H24 年 11 月に開催された第 3 回 JCC において承認された。Boracay 島はフィリピン国内の有数な国際的リゾート観光地の一つとして知られているが、近年、その最も重要な観光資源の一つである美しい砂浜が失われつつあり、それを何とか保全し再生することが喫緊の課題となっている。砂浜浸食の原因として、その前面のサンゴ礁生態系の劣化が強く関与していることが疑われているが、サンゴ礁生態系劣化には観光開発に伴うさまざまな人間活動が関与していると考えられることから、Boracay 島は、観光開発を主体とする地域の持続的発展と沿岸生態系の保全の両立、という本プロジェクトで対象とする典型的な課題を抱えたサイトの一つとなっている。そのようなことから、同島の生態系や環境保全の問題に以前から深く関わってきている Prof. Fortes からの強い推薦があり、昨年5月の現地視察を経て、上記の第3回 JCC でのサイト追加提案とその承認に至った次第である。すでに、同島では、同年5月中旬と9月下旬に予備的調査を、12月中旬とH25年3月中旬に調査を実施しており、海浜浸食の常時モニタリングシステムとしての CCTV カメラ(ウェブカメラ)4台の設置・運用も実現している。同島では、地元自治体やフィリピン商工会議所、NPO 団体等からの本プロジェクトに対する高い期待が有り、さまざまな協力も得ている。そのようなことから、これまで地元での workshop 等も既に数度開催している。

## 2.2 生態学グループA(北海道大学・仲岡雅裕、高知大学・中村洋平、海洋研究開発機構・田中義幸)

研究題目:「生態学的アプローチによる熱帯沿岸生態系の生物多様性・生態系機能維持機構と多重ストレス応答評価」(Ecological approach to elucidate maintenance mechanisms and multiple stresses responses of biodiversity and functioning of tropical coastal ecosystem)

### ①研究のねらい

フィリピン沿岸海域における人為的開発の程度および種類が異なる複数のモデル海域を対象に、生物学的モニタリング、群集動態の広域比較解析、室内・野外操作実験などの生態学的アプローチを用いることにより、サンゴ礁・海草藻場・マングローブ連成系の基本的特性と、多重ストレスに対する生物群集および生態系プロセスの反応機構を解明する。さらに、他グループとの共同解析により、幼生や種子による分散を通じた海洋生物の空間動態を明らかにすることにより、多重ストレスに対する生物群集および生態系の応答を広域空間スケールで評価する。また、持続的な生物学的モニタリングを通じた沿岸生態系の影響評価を可能にするための現地スタッフ・学生等に対する生態学的手法に関する教育・技術指導を行う。

平成 22 年においては、調査対象海域の選定と、生物学的モニタリングの方法の確立、および海洋生物の多重ストレス応答の測定法の開発を主目的とした野外調査および教育・技術指導を実施した。平成 23 年においては、選定した調査地・調査法により生物学的モニタリングを開始するとともに、前年度に引き続き、海洋生物の多重ストレス応答の測定、および教育・技術指導を実施した。平成24年度においては、サンゴ礁・海草藻場・マングローブ連成系の実証的調査、海洋生物のメタ個体群動態、および多重ストレスに対する主要生物の応答に関する実験的解析を実施している。

### ②研究実施方法

#### 1) フィリピン多島沿岸域の対象域選定、調査方法確定のための検討

平成22年度までに収集した文献情報、現地研究者の聞き取り情報、および2009年9月の現地視察により得られた情報を分析し、生物多様性および生物群集構造の広域かつ長期的なモニタリングを行うための調査地の

絞込みを行うとともに、各候補地における対象生物群、およびそのモニタリング方法の検討を進めた。また、多重ストレス評価については、対象とするストレスの種類、対象生物、およびストレス評価法を検討した。さらに、local habitat 内での生物多様性・生態系機能の相互連成構造を研究に向けて、対象とする海域と調査スケール、および対象となる生物群の選定を進めた。これに基づき、平成 22 年 9 月より生物多様性・生態系機能の定期的なモニタリング、および音響テレメトリーを用いた高次消費者(魚類)の local habitat 利用様式のための予備調査を開始し、段階的に本調査へと移行した。

## 2) フィリピンにおける現地調査

平成 22 年前半においては、上記で挙げた調査対象地、対象生物、調査方法の選定に向けて、現地調査を行い具体的な絞込みを行った。このうち、Bolinao、Puerto Galera においては、3 月上～中旬にモデル開発・評価グループならびに地球化学グループと共同で野外調査を行い、調査サイトおよび生物学的モニタリングの項目・手法を確定した。また、Mindanao 島北部においては、6 月の予備調査により、Laguindingan、Lopez Jaena に調査サイトを設定することを決定した。なお、Lopez Jaena については、日本人の渡航が認められていないため、フィリピン側の共同研究者のみでの調査を行うことになった。

平成 22 年 9 月にはこれらの選定サイトにおいて、1 回目の生物学的モニタリング、多重ストレス評価のための生態系機能測定、および local habitat 内の相互連成構造に関する調査を行った。また、Panay 島南部(Iloilo)においても比較調査対象となるサイトの選定のための予備的視察および情報収集を行った。また、12 月には、フィリピン側共同研究者(Fortes 氏ら)に依頼して、2 回目の生物学的モニタリングを行ってもらい、生物多様性、生態系機能の季節変動の把握を行った。

平成 23 年前半においては、上記で設定した生物多様性・生態系機能モニタリングを 2 月～3 月にかけて、日本とフィリピンの当該研究者および RA により、Bolinao、Puerto Galera、Laguindingan で実施した。3 月にはこれらの選定サイトにおいて、多重ストレス評価のための生態系機能測定、および local habitat 内の魚類の相互連成構造に関する調査を行った。6 月にはフィリピンのカウンターパートが上記モニタリングを継続し、季節変動に関するデータの収集を行った。また、Mindanao 島北部においては、平成 23 年 2 月より音響テレメトリーを用いた高次消費者(魚類)の local habitat 内での相互連成構造の解析法を確立するための予備調査を行い、5 月～6 月に 1 回目の本調査を実施した。

平成 23 年 9 月と平成 24 年 3 月には、上記 Bolinao、Puerto Galera、Laguindingan の 3 サイトにおいて、生物多様性・生態系機能モニタリング、多重ストレス評価のための生態系機能測定、および local habitat 内の魚類の相互連成構造に関する調査を継続した。また、平成 23 年 12 月にもフィリピン側の共同研究者のみでのモニタリングを実施した。一方、Panay 島-Guimaras 島海域においては平成 24 年 3 月に生物多様性の広域動態解析のための予備調査を実施した。さらに、Mindanao 島北部においては、音響テレメトリーを用いた高次消費者(魚類)の local habitat 内での相互連成構造に関する 2 回目の本調査を平成 23 年 8 月～9 月に実施した。

前述の、Puerto Galera を訪問先とするエコ・スタディ・ツアー(H24 年 2 月)についても、本グループの関係者 4 名が専門家として参加した。

平成 24 年度においては、上記調査項目を継続するとともに、より広域スケールでの生物群集のコンネクティビティを解明するために、モデル開発・評価グループと生態学グループ B と共同で指標種となる魚類を対象としたメタ個体群研究を開始した。このため、平成 24 年 5 月にラギンディンガン、6 月および 9 月にプエルトガラ、平成 24 年 11 月にはボリナオとラギンディンガン、平成 25 年 2～3 月にラギンディンガンで、魚類の目視観測、音響テレメトリー調査、および遺伝的構造解析のための採集を行った。また、多重ストレスに対する主要生物の応答の実証的解明をするための研究については、平成 24 年 9 月と平成 25 年 3 月にボリナオ海域において野外調査

を行うと共に、大型水槽を用いた飼育培養実験を実施した。当地では、地球化学グループと共同で、沿岸海域の生態系機能の1つである炭素吸収・貯留機能についても現地調査により、評価のための資料・データを得つつあり、次年度以降、解析を本格化させる予定である。さらに、Episodic event に伴う沿岸生態系の反応の評価に関する課題については、評価のベースラインとなる生物多様性データについて探索・検討・解析するために、平成 25 年 3 月にはボラカイとイロイロで現地カウンターパートへの聞き取り調査および現地調査を行い、データの管理用法および解析方法に関する議論を行った。

### 3) 相手国側研究メンバーの招聘・研修

相手国研究参画機関の主要メンバーであるフィリピン大学ディリマン校の Mr. Klenthon Bolisay と Ms. Gay Go Amabelle を、それぞれ H22 年 8 月上旬から下旬、8 月中旬から 9 月上旬にかけて招聘し、本プロジェクトの本格実施に備えた研究を行った。Mr. Bolisay は研究分担者である中村洋平氏(高知大学)の研究室において、魚類の成長解析のための主要な方法である耳石の測定法を学ぶとともに、石垣島のアマモ場において魚類のセンサス法を習得した。また、Ms. Amabelle は石垣島のアマモ場において海草類のセンサス法を習得するとともに、研究分担者である田中義幸氏(海洋開発研究機構むつ研究所)の研究室において海草の元素分析と Diving PAM を用いた光合成能の計測法について習得した。

平成 23 年前半においては招聘・研修はなかった。平成 23 年後半においては、相手国研究参画機関の主要メンバーであるミンダナオ州立大学ナーワン校の Ms. Venus Leopardas と Ms. Allyn Pantallano を、それぞれ 8 月中旬から 9 月上旬、および 10 月上旬から下旬に招聘し、本プロジェクトに関連した研究を行った。Ms. Leopardas は研究分担者である仲岡雅裕氏の研究室がある北海道大学厚岸臨海実験所にてアマモ場のベントス群集の生物多様性と生態系機能に関する解析法を習得するとともに、北海道大学札幌キャンパスにて長期生態系研究に携わる研究者と議論することにより、当該分野の最先端の動向について学んだ。一方、Ms. Pantallano は、沖縄本島で行われた本プロジェクトの関連野外調査に参加して、魚類センサスを中心とした生物多様性モニタリングの野外調査の基礎的な考え方及び技術を習得するとともに、研究分担者である中村洋平氏(高知大学)の研究室において、魚類生態学において重要な耳石解析技術を習得した。

平成 24 年度においては、地球化学グループと共同で、アマモ場・海藻藻場を対象とした野外調査方法。生理生態学的手法、生物統計学および同位体分析法に関する研修を8月に厚岸および柏で実施した。生態学グループAにおいては、Mr. Bolisay、Ms. Amabelle および Ms. Leopardas の3氏を招へいた。

### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

全体計画に記載された研究は平成 22 年 3 月から開始されたものであるが、生物学的モニタリングの対象域については、4 地域(Bolinao, Puerto Galera, Laguindingan および Lopez Jaena)において環境ストレス勾配および強度に応じた複数の点の選定を早期に終えることができた。また、平成 22 年 3 月および 9 月の調査および 8 月の石垣島での予備調査・研修により、海草、海洋無脊椎動物群集および魚類のモニタリング方法については、方法論を確定させた。

平成 23 年度以降においても、生物多様性・生態系機能モニタリングについては、日本・フィリピンの研究者による共同調査が年2回、フィリピン研究者による補足調査が年2回、引き続き行われており、長期データが順調に集積しつつある。また、環境ストレスに対する生物の応答機構についても、環境勾配に沿って配置した複数の点での海洋生物の現存量や成長率の比較を通じて、基礎的なデータが集積しつつある。この成果をもとに、操作実験の詳細な計画を立案することにできた。さらに local habitat の相互練成構造については、モニタリングデータの分析が進むとともに、音響テレメリーを用いた解析法を確立し、高次消費者の移動分散およびハビタット利

用様式に関するデータが集まりつつある。平成 24 年度以降は、モデル海域周辺域および他地域への調査の展開、および野外調査で明らかになった生物多様性・生態系機能の変動機構を解明するための実験的アプローチ、さらに、モデル開発・評価グループと生態学グループBと共同での指標種となる魚類を対象としたメタ個体群動態研究を開始しており、順調に進展中である。さらに、生態系機能評価においては、地球化学グループと共同で、沿岸生態系の炭素吸収・貯留機能の定量的評価も進めている。これは現地カウンターパートの要請に基づく新しい課題であり、当初の計画以上の成果が得られることが期待される。

#### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

平成 22 年4月の国内会合や6月、9月の現地会合での議論、および平成 23 年以降の現地での会合や National Conference および JCC 会議等を通じて、今後の共同研究を通じての技術移転のあり方や研修候補者の選定方法について検討した。それに基づいて、現地における共同調査、および日本における相手国側の若手研究メンバーの研修を通じて、技術移転は順調に進みつつある。

#### ⑤ 初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

平成 23 年 3 月後半には、Panay 島-Guimaras 島海域での調査地点の選定を、現地カウンターパートと行う予定であったが、3月11日に発生した東日本大震災に伴い、渡航が中止になったため、平成 23 年後半期以降に延期されることになったが、平成 24 年 3 月より実施することができた。また、魚類のメタ個体群動態解析については、平成 24 年 10 月に当初予定だったボリナオ海域で対象魚種が乱獲のため激減していることが判明したため、急遽、調査海域をラギンディンガンに変更した。変更地では対象魚種は多く生息しており、当初予定の調査項目を順調に行うことができた。

### 2.3 生態学グループ B(東京大学・練春蘭)

「分子生物学的アプローチによる熱帯沿岸生態系の生物多様性・生態系機能維持機構と多重ストレス応答評価」(Molecular biology approach to elucidate maintenance mechanisms and multiple stresses responses of biodiversity and functioning of tropical coastal ecosystem)

#### ① 研究のねらい

熱帯沿岸生態系における reef connectivity の実態を集団遺伝学解析によって解明し、他の研究グループとの共同解析により、生物多様性・生態系維持機構の解明やストレス影響評価、さらには本研究プロジェクトで重要テーマの一つとして掲げている海洋保護区(MPA)の合理的設定ならびに維持管理手法の開発・提言を目指す。

フィリピン各地、日本の琉球列島と中国の沿岸域から、海草とサンゴ礁海産生物を対象種としてサンプリングする。主要種について、多型性が高く共優性の DNA マーカーであるマイクロサテライトマーカー(SSR)の開発を行い、DNA 多型解析を行う。

#### ② 研究実施方法

フィリピン側共同研究者(Fortes 氏、Uy 氏、Campos 氏ら)との共同調査により、海草やその他のサンゴ礁海産生物のフィリピン全域における分布を明らかにし、サンプリングを行う。(2) 主要種について SSR マーカーを開発し、集団単位で遺伝子解析を行い、遺伝的多様性や集団間遺伝距離、集団間の遺伝子流動、遺伝構造などのパラメーターを明らかにする。

### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

#### 1) 海草のサンプリング

平成22年には、3月にフィリピン西部の Busuanga (4地点) および Puerto Princesa (3地点)、6月に Mindanao 島北部(2地点)においてサンプリングを行った。また、フィリピン以外の地域と比較するため、3月に中国海南省(3地点)でもサンプリングを行った。さらに、インドネシアにおいても海草の分布状況を視察した。また、8月の沖縄調査においては、沖縄本島(4地点)、石垣島(5地点)、小浜島(1地点)、竹富島(1地点)、西表島(5地点)、宮古島2地点の計18地点で、9月のフィリピン調査においては、ボリナオ(4地点)、スービック湾(ルソン島南西、2地点)とプエルトガレラ(7地点)、計13地点より海草類の採集を行った。平成23年には、5月下旬～6月中旬に Batanes (2地点)、Cagayan (1地点)、Ilocos Norte (1地点)、Sorsogon (3地点)、Camatines Sur (1地点)、Aurora (1点)と Cagbalete Is. (Quezon、1地点)、計10地点で、海草とヒトデ類を採集した。

平成23年8月下旬～9月中旬には、Visayas 諸島で海草類とヒトデ類のサンプリングを行った。また、平成24年2月下旬～3月中旬まで、Bolinao で、海草の繁殖様式とスモールスケール(10 km)の connectivity を明らかにするため、異なる生育環境である9プロットの調査地を設定し、対象海草種5種(*E. acoroides*、*S. isoetifolium*、*T. hemprichii*、*Cymodocea rotundata*、*C. serrulata*)をコドラート法でサンプリングを行った。

平成24年度9月には、Guimaras 海峡(Bantayan、Lakawon Island、Linawon、Nadulao Island、Inampulungan Island、Sabang、Sibunag、Looc Polopinia、Bulubadiangan Island、Banate Bay、Nogas Island)、計10地点で、海草とヒトデ類のサンプリングを行った。

#### 2) マイクロサテライトマーカーの開発

平成21年度、*Syringodium isoetifolium* に、平成22年度、リュウキュウスガモ(*Thalassia hemprichii*)とウミシヨウブ(*Enhalus acoroides*)について、マーカー開発を行った。平成24年度、ヒトデ(コブヒトデ)と *S. isoetifolium* について、集団解析に十分なマーカーを作製した。現在、*Cymodocea rotundata* と *C. serrulata* のマーカーを作製している。

#### 3) 集団遺伝学的解析

日本琉球列島全域、中国海南島、フィリピン沿岸全域から熱帯性海草類の生息地をほぼカバーする82地点から採集したリュウキュウスガモ(*Thalassia hemprichii*)、ウミシヨウブ(*Enhalus acoroides*)、シオニラ(*Syringodium isoetifolium*)とコブヒトデ(*Protoreaster nodosus*)の集団解析を行った。

#### 4) 海草の繁殖様式の解明

海草の繁殖様式を明らかにするため、Bolinao で異なる生育環境である9プロットの調査地から採集したウミシヨウブ(*Enhalus acoroides*)のジェノタイピングを行った。現在、リュウキュウスガモ(*Thalassia hemprichii*)のジェノタイピングを行っている。

### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

キックオフ会合や共同調査を通して、今後の技術移転について検討した。また、平成24年2月11日～16日においては、ミンダナオ州立大学ナーワン校の Mr. Arriego と平成25年度1月14日～2月9日に、ミンダナオ州立大学ナーワン校の Ms. Ivane P. Gerasmio を招聘し、本プロジェクトに関連した技術研修を実施した。

### ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

特になし。

## 2.4 地球化学グループ(東京大学大気海洋研究所・宮島利宏、長崎大学・梅澤有、東京工業大学・渡邊

敦、琉球大学・栗原晴子)

研究題目：「物質循環把握に基づく沿岸生態系への多重ストレス波及過程の解明」

(Evaluation of multiple environmental stresses and their propagation process across coastal ecosystems -- a biogeochemical approach)

#### ①研究のねらい

研究期間の前半においては、熱帯沿岸海域における多重環境ストレスの伝播と生態系の応答を解明することをねらいとし、包括的な沿岸海域モニタリングのシステムを構築し実用化することを主たる目標とする。陸域からの人間活動による負荷と海域における生態系の応答とを水循環ベースで包括的に解明するために、河川・地下水を中心とする流域系動態調査、降雨量と降雨水質の調査、海域側の総観的観測とを組み合わせ代表的な季節に実施する。得られるデータはモデル開発・評価グループに提供してモデルの構築と校正に資するとともに、モデル開発・評価グループから提供される流動場モデル・地理情報モデルを化学的データの解釈と将来予測のために積極的に活用する。

また化学的環境と生態系側の応答との関係を定量的に評価するため、生態学グループAとも密接に協力して研究を進める。温暖化・酸性化、陸域からの人為的物質負荷、漁業活動の影響など、時空間スケールの異なる環境ストレスに対する生態系とその構成生物(特に造礁サンゴ、海草、底生動物、魚類)の応答を、環境諸因子と生物分布との関係解析、生物・生化学指標(安定同位体比、脂肪酸組成等)、生物移植実験、屋外水槽実験を通して複合的な手法により解明する。

平成 22 年度までは主として陸域からの人為負荷ストレスの沿岸海域における広域的な影響の評価を目的とする化学海洋学的観測を重点的に実施してきた。23 年度以降はサンゴ礁、海草藻場等の個別の生物相におけるストレス応答評価を重点課題として、有効なストレス診断手法の開発及び効果的な適応策の策定を目標とした研究を進めている。本年度(24 年度)は特に①Bolinao, Banate Bay, Laguindingan に設置されている(もしくは年度内に設置される予定の)CCMS 観測点周辺の集中水質調査を行い、観測点の特性と追加採水点の配置について検討すること、②前年度から準備に着手している Bolinao Marine Laboratory における海洋酸性化応答研究用実験施設を完成させ、現地研究者に必要な技術移転を行い、運用を開始すること、③生物移植実験による環境ストレス評価法と生物を利用した環境指標系の構築を進めることの3点に重点を置いて活動した。

#### ②研究実施方法

地球化学グループでは、(1)現場設置型各種計測装置による連続モニタリングを基盤として、(2)年 2 回程度の集中観測による陸域・海域調査、(3)生物・堆積物マッピング法と同位体比分析・有機質量分析等の先端的分析手法の組合せによる環境負荷の地理的広がり解析、(4)モデル開発・評価グループとの協力による栄養塩・懸濁物等の流出負荷モデルの開発とそれを利用した環境予測、(5)生態学グループとの協力による生物群集-環境相互作用の解析という複合的なアプローチを併用して研究を行っている。また平成 22 年度から現地に常駐する研究者の協力を得て、大気降下物による越境汚染の連続観測を実施している。平成 23 年度後半からは、フィリピン大学ボリナオ臨海実験所に海洋酸性化影響評価のための実験設備の構築を開始し、現地研究者への技術移転を目指している。

集中的な調査の対象地域として、(i) Luzon 島 Lingayen 湾海域/Agno 川集水域、(ii) Guimaras 海峡海域/Panay 島南部・Negros 島北部集水域、(iii) Mindanao 島 Macajalar 湾/Cagayan de Oro 川集水域、(iv) Puerto Galera 周辺海域の4箇所を指定している。また比較研究の対象として、主調査地のフィリピンに比べて中国大陸

からの越境汚染の影響が強い沖縄県八重山諸島周辺海域を含める。

これらの観測において、特に海域側の観測はモデル開発・評価グループと密接に連携し、共同観測態勢を組んでいる。河川調査は概ね地球化学グループが主導して実施している。地下水と堆積物および海底地下水湧出(SGD)の調査はフィリピン側の地質学グループと共同で進める。生態学グループAとは、移植実験および屋外水槽実験を利用したバイオアッセイによる海洋酸性化・水質汚濁等の環境ストレス評価、および生体試料の同位体・脂肪酸分析による生態構造解析、海草藻場の炭素隔離機能など生態系サービスの評価において協力体制を取る。

### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

熱帯沿岸生態系への陸源負荷作用過程(活動 1-1)については、平成 22 年度に主として広域的な定点観測による海洋化学的調査を実施したことを受けて、平成 23 年度は 9 月と 3 月の集中観測において、ローカル・スケールにおける出水の影響、養殖漁業施設とその近辺の貧酸素堆積物からの栄養塩・有機物流出過程、および河川からの高濁度水の流出過程の解析を目的とした高密度平面観測、時系列観測、Lagrangian 法による観測等を Bolinao 沿岸海域ならびに Banate 湾海域において実施した。観測試料は現在分析中であり結果の解析が十分に進んでいないものの、予定していたとおり活動 1-1 に対応する主要な調査観測活動は 23 年度までにほぼ完了した。ただし 24 年度から新たに追加された調査対象地域である Boracay については地球化学グループとして調査に着手しておらず、25 年度以降に必要な応じて調査を実施する。

海陸統合系における物質循環の時空間動態(活動 1-2)に関しては、①流動場や水交換速度などの海洋物理学的条件が生態系の物質循環の空間的多様性とストレス伝播にあたる影響と、②雨季・乾季などの季節的な気候条件による物質循環系の時間変動との解明を主要な二つの目標として各種調査観測を実施している。平成 23 年度においては主として Puerto Galera 海域において①の目的に沿う精密平面採水を雨季と乾季に実施した。3 月には堆積物の面的マッピングのためのサンプリングも行った。24 年度以降は主として海水中溶存有機物(養殖池に由来するものなど)の環境影響、および栄養塩循環のうちでも特にリンの動態について、集中的に調査する計画である。②に関しては、第一に降水による越境汚染負荷の季節変動のモニタリングを 22 年度から Bolinao および越境汚染の影響がより強い比較調査地である沖縄県八重山諸島において実施しているが、23 年度から Banate において、24 年度には Mindanao 島においても観測を開始した。また全体ミッションとして設置された CCMS を利用した海洋環境の長期変動に関する定期観測を計画しており、そのための精密空間水質調査を Bolinao, Banate Bay, Laguindingan において実施した。

全体計画において 23 年度後半から着手されることになっている地球環境変動とローカル環境ストレスの複合作用過程の解明(活動 1-3)に関しては、①Bolinao 臨海実験所の施設を利用した屋外水槽による操作実験、および実生態系における②付着基盤設置実験、③生物移植実験等の各種実験的手法によるアプローチを計画し実施している。23 年度は 9 月集中調査時に Bolinao 周辺海域において②の基盤設置実験を約 2 週間にわたり実施した。ただし調査手法の不備に加え、設置物の盗難という問題があり、計画通りには成果が得られていない。また 24 年 3 月の現地調査時に Bolinao および Puerto Galera 周辺海域において③の生物移植実験に着手し、24 年 9 月および 25 年 3 月に経過観測を行っている。①の屋外水槽実験については Bolinao のフィリピン大学の水槽施設を利用して、海洋酸性化と懸濁物負荷の複合ストレスをテーマとした実験を計画中で、実験のために必要な施設の改修と設備の増強を 24 年末までにほぼ完了した。25 年 3 月に実験試料の処理に必要な機材を投入し、4 月より本実験を開始する予定である。

二酸化炭素放出・吸収特性による沿岸生態系評価(活動 1-4)に関して、平成 23 年度は主として海草藻場に

における二酸化炭素吸収量を評価するためのモニタリングを実施した。平成24年4月にはルソン島東方の黒潮源流域における広域的なモニタリングを実施した。この観測では、JST からの追加予算により導入された水同位体比分析計を応用して、海水の酸素水素同位体比精密分析による大規模水塊構造の解明を試みた。

これらの活動に加え、生態学グループ A との共同研究として、海草藻場の代表的な生態系機能の一つである炭素隔離容量の評価に向けた調査を実施した。これは、沿岸海洋生態系の重要な生態系サービスとして、主要な地球温暖化ガスである大気中に酸化炭素を吸収して有機炭素として海洋堆積物中に隔離する機能 (Blue Carbon) が近年 UNEP の主導下で国際的な注目を浴び、炭素隔離容量の定量化が喫緊の研究課題となっている情勢を受けたものである。23 年度は主として Bolinao 海域を対象に堆積物調査を行い、24 年 9 月には Banate 海域で長期時系列調査のための堆積物ロングコアの採取を行った。また 25 年 3 月には Bolinao の主調査地において pCO<sub>2</sub>-PAM 同時観測を実施している。

生態構造解析・人為起源栄養素の流動状況調査のためのフィリピン政府からの生物試料の輸出許可については、過去に取得したサンプルに対しては 24 年末までに許可を得て持ち帰ることが可能になったが、新規に取得した試料に対する許可にはなお相当の時間を要する状況にあり、研究の進行が遅滞している。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

毎年3月と9月に実施している集中合同観測の際にカウンターパート側の学生にも多数参加してもらい、地球化学的な現場観測(海洋観測・地下水調査・河川調査・生物調査)の実技を修得してもらった。炭酸系の精密分析に関しては本年度に別予算で調達した全アルカリ度分析装置等をフィリピン大学海洋研究所に設置して分析技術を直接指導した。また栄養塩分析・溶存有機炭素分析については、共通の試料を日本側とフィリピン側の双方で分析を行い、分析精度・確度に関する相互校正を実施した。

23 年 11 月には、別経費による招聘を含め3名のフィリピン側若手研究者の日本国内における技術研修を実施した。溶存有機物分析法、試料処理法、精密炭酸系分析法、各種同位体比分析法の修得、長崎大学と琉球大学の海洋酸性化実験施設の視察を主な内容とした。また 24 年 8 月には生態学グループ A と共同で 4 名の若手研究者を招聘し、藻場調査法、生態学的統計解析法、食性解析法、機器分析による生体成分解析法、Blue Carbon の調査手法などについて講義と実習を行った。

24 年末までに、フィリピン大学ボリナオ臨海実験所の屋外飼育施設において、施設の改修(採光、海水供給)および設備の強化(コンプレッサーとガス混合装置の導入)を行い、海洋酸性化影響評価のために必要となるハードウェアに関する技術移転を終えた。24 年 9 月から、設備の操作と実験方法に関する技術指導を行っている。

#### ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

本プロジェクトの全般を通して、水循環に関する精密な情報を取得することが当初考えられていた以上に重要であることが判明したことから、地下水、河川、降雨などの試料を精力的に集め、それらの水安定同位体比のデータを遅滞なく取得していくために、最新の水同位体比アナライザーを平成 22 年度末に導入した。平成 23 年度から河川水や降水、沿岸海水などの数多くの水試料の分析を本格的に開始し、降水の起源、地下水の交換状況、海域の水塊構造などに関して極めて有益なデータを得ている。

生態学グループ A と共同で進めている、ボリナオ臨海実験所における実験水槽施設を利用した実験生態学的研究(酸性化応答実験を含む)も。当初計画の範囲を超えた新しい展開に含まれる。これは同水槽施設のポテンシャルを追加投入により強化することに成功したことと、フィリピン大学側のスタッフや学生に実験的研究に対する強い要望があったことを背景としている。

また③にも記したとおり、近年の国際的な趨勢を受けて、生態系機能としての Blue Carbon の評価を重点課題の一つとして23年度より研究を行っている。これは広い意味では活動項目1-4「CO<sub>2</sub>放出・吸収特性から見た沿岸生態系の評価」に深く関係する活動であるが、プロジェクト開始段階ではBlue Carbonに特化した具体的内容が計画に含まれていなかったため、現段階では十分な調査を行うためには設備・マンパワーともに不足しており、今後の追加予算措置等による支援が期待されている。

### 3. プロジェクト成果発表等

#### 3-1 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0件、国際 11件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 45件)
- ③ 論文詳細情報

- Abe O., A. Watanabe, V.V.S.S.Sarma, Y.Matsui, H. Yamano, N. Yoshida and T. Saino (2010): Air-Sea Gas Transfer in a Shallow, Flowing and Coastal Environment Estimated by Dissolved Inorganic Carbon and Dissolved Oxygen Analyses. *Journal of Oceanography*. 66, 363-372 Jun 2010
- Blanco A.C., K. Nadaoka, T. Yamamoto, K. Kinjo (2010): Dynamic evolution of nutrient discharge under stormflow and baseflow conditions in a coastal agricultural watershed in Ishigaki Island, Okinawa, Japan. *Hydrological Processes*, 24 (18), 2601-2616 Aug 30 2010
- Takino T., A. Watanabe, S. Motooka, K. Nadaoka, N. Yasuda, and M. Taira (2011): Discovery of a large population of *Heliopora coerulea* at Akaishi Reef, Ishigaki Island, southwest Japan. *GALAXEA, Journal of Coral Reef Studies*, 12 (2), 85-86 Nov. 2010
- Dadhich A., and K. Nadaoka (2010): Impact analysis of natural and socio-economic factors in Coral Coast area using remote sensing and GIS. *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE*, 1, 2010, 51-55
- Herrera, E.C., Nadaoka, K., Pokavanich, T. et al, (2010): Analysis of the Hydrodynamic and Water Quality Connectivity of a Marine and a Lacustrine Environment. *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE*, 1, 2010, 46-50
- Lu L.F., Y. Miyazawa, W. Cui and K. Nadaoka (2010): Numerical study of surface water circulation around Sekisei Lagoon, southwest Japan. *Ocean Dynamics*, 60, 2, 359-375
- Nakamura Y. (2010): Patterns in fish response to seagrass bed loss at the southern Ryukyu Islands, Japan. *Marine Biology* 157: 2397-2406
- Tanaka Y., Ogawa H. and Miyajima T. (2010): Effects of nutrient enrichment on the release of dissolved organic carbon and nitrogen by the scleractinian coral *Montipora digitata*. *Coral Reefs* 29: 675-682 Sep 2010
- Hosono T, Siringan FP, Yamanaka T, Umezawa Y., Onodera S, Nakano T and Taniguchi M (2010): Application of multi-isotope ratios to study the source and quality of urban groundwater in Metro Manila, Philippines. *Applied Geochemistry*, 25: 900-909
- Osawa Y, Fujita K, Umezawa Y, Kayanne H, Ide Y, Nagaoka T, Miyajima T and Yamano H (2010): Human impacts on large benthic foraminifers near a densely populated area of Majuro Atoll, Marshall Islands." *Marine Pollution Bulletin*, 60: 1279-1287

- Nakamura T. and T. Nakamori (2010): A simulation model for coral reef formation: reef topographies and growth patterns responding to relative sea-level histories. In: Linda L. Wright (ed.) Sea Level Rise, Coastal Engineering, Shorelines and Tides. Nova Science Publishers (New York), (in press)
- Honda K., Hobday A. J., Kawabe R., Tojo N., Fujioka K., Takao Y. and Miyashita K. (2010): Age-dependent distribution of juvenile southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) on the continental shelf off southwest Australia determined by acoustic monitoring. Fisheries Oceanography 19(2): 151–158.
- Yoshikazu Sasai, Aditya R. Kartadikaria, Yasumasa Miyazawa and Kazuo Nadaoka (2011): Marine Ecosystem Simulation in the Indonesian Seas, Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry—Marine Environmental Modeling & Analysis, Eds., K. Omori, X. Guo, N. Yoshie, N. Fujii, I. C. Handoh, A. Isobe and S. Tanabe, pp. 11–17. Jan. 13 2011
- Hosono T, Wang CH, Umezawa Y., Nakano T, Yoshimizu C, Tayasu I, Nagata T, Onodera S, and Taniguchi M (2011): Multipule isotope (H, O, N, S, and Sr) approach elucidates the complex pollution causes in the shallow groundwaters of Taipei urban area. Journal of Hydrology, 397:23–36 Jan. 24 2011
- Kohzu A, Imai A, Miyajima T, Fukushima T, Matsushige K, Komatsu K, Kawasaki N, Miura S, Sato T (2011): Direct evidence for nitrogen isotope discrimination during sedimentation and early diagenesis in Lake Kasumigaura, Japan. Organic Geochemistry 42: 173–183 Feb 2011
- Blanco A., A. Watanabe, K. Nadaoka, S. Motooka, E.C. Herrera, and T. Yamamoto (2011): Estimation of nearshore groundwater discharge and its potential effects on a fringing coral reef. Marine Pollution Bulletin, doi:10.1016/j.marpolbul.2011.01.005 Apr 2011
- Hosono T, Su C, Delinom R, Umezawa Y., Toyota T, Kaneko S, Taniguchi M (2011): Recent decline in heavy metal pollution in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to the effects of environmental regulations. Estuarine Coastal and Shelf Science, 92: 297–306 Apr. 10 2011
- Mora C, Aburto-Oropeza O, Bocos AA, Ayotte PM, Banks S, Bauman AG, Beger M, Bessudo S, Booth DJ, Brokovich E, Brooks A, Chabanet P, Cinner J, Cortés J, Cruz-Motta JJ, Magaña AC, DeMartini E, Edgar GJ, Feary DA, Ferse SCA, Friedlander A, Gaston KJ, Gough C, Graham NAJ, Green A, Guzman H, Hardt M, Kulbicki M, Letourneur Y, Pérez AL, Loreau M, Loya Y, Martinez C, Mascareñas-Osorio I, Morove T, Nadon MO, Nakamura Y, Paredes G, Polunin N, Pratchett MS, Bonilla HR, Rivera F, Sala E, Sandin S, Soler G, Stuart-Smith R, Tessier E, Tittensor DP, Tupper M, Usseglio P, Vigliola L, Wantiez L, Williams I, Wilson SJ, Zapata FA (2011): Global human footprint on the linkage between biodiversity and ecosystem functioning in reef fishes. PLoS Biology, 9(4). e1000606 Apr 2011
- Yasuda N., C. Taquet, S. Nagai, Suharsono and K. Nadaoka (2011): Reef-connectivity of *Acanthaster* sp. in Coral Triangle region. DNA Polymorphism, 19: 134–138 May 30 2011
- Tanaka Y, Miyajima T, Watanabe A, Nadaoka K, Yamamoto T, Ogawa H (2011): Distribution of dissolved organic carbon and nitrogen in a coral reef. Coral Reefs, 30:533–541 Jun 2011
- Tanaka Y., Ogawa H. and Miyajima T. (2011) Bacterial decomposition of coral mucus as evaluated by long-term and quantitative evaluation. Coral Reefs 30: 443–449 Jun 2011
- Hata H and Umezawa Y. (2011): Nutritional ecology of a territorial farmer fish, *Stegastes nigricans*. Ecological Research, 26: 809–818, Jul. 2011
- Tanaka Y., Ogawa H. and Miyajima T. (2011) Production and bacterial decomposition of dissolved organic

- matter in a fringing coral reef. *Journal of Oceanography* 67: 427–437 Aug 2011
- Kartadikaria A.R., Y. Miyazawa, S. M. Varlamov, K. Nadaoka (2011): Ocean circulation for the Indonesian seas driven by tides and atmospheric forcings: Comparison to observational data. *Journal of Geophysical Research*, VOL.116, C09009, 21 PP. 2011, doi:10.1029/2011JC007196 Oct. 27 2011
- Nakada S, Umezawa Y, Taniguchi M and Yamano H (2011) :Groundwater Dynamics of Fongafale Islet, Funafuti Atoll. *Groundwater*, DOI: 10.1111/j.1745–6584.2011.00874. Oct 28 2011
- Enrico C. Paringit and Kazuo Nadaoka (2011): Simultaneous estimation of benthic fractional cover and shallow water bathymetry in coral reef areas from high-resolution satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 1-22 Nov. 11
- Kartadikaria A.R., K. Nadaoka and Y. Miyazawa (2011): A numerical study on larval dispersal around the Southeast Asia and West Pacific (SEA-WP) regions using an Indo-Pacific ocean circulation model. *Proc. of International Session in Conference on Coastal Engineering, JSCE*, 2 , 46–50.
- Nanjo K, Nakamura Y, Horinouchi M, Kohno H, Sano M (2011): Predation risks for juvenile fishes in a mangrove estuary: a comparison of vegetated and unvegetated microhabitats by tethering experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 405:53–58
- Lecchini D., Carassou L., Frederich B., Nakamura Y., Mills S.C., Galzin R. (2011) Effects of alternate reef states on coral reef fish habitat associations. *Environmental Biology of Fishes* (in press)
- Yasuda Y., M. Abe, T. Tsutomu, M. Kimura, C.L. Lian, S. Nagai, Y. Nakano, K. Nadaoka (2012) Large-scale mono-clonal structure in the north peripheral population of blue coral, *Heliopora coerulea*, *Marine Genomics*, in press
- Dadhich, A. P., Nadaoka, K., Yamamoto, T. and Kayanne, H. (2012) Detecting coral bleaching using high-resolution satellite data analysis and 2-dimensional thermal model simulation in the Ishigaki fringing reef, Japan. *Coral Reefs*, 31, 10.1007/s00338-011-0860-1
- Kartadikaria A.R., Y. Miyazawa, K. Nadaoka, A. Watanabe (2012): Existence of eddies at crossroad of the Indonesian seas. *Ocean Dynamics*, Volume 62, Number 1, 31–44, DOI:10.1007/s10236-011-0489-1 Jan 2012
- Nakajima Y., Matsuki Y., Lian C.L., Fortes M., Uy W., Campos W., Nakaoka M., and Nadaoka K. (2012): Development of novel microsatellite markers in a tropical seagrass, *Enhalus acoroides*. *Conservation Genetics Resources*, 4: 515–517, DOI: 10.1007/s12686-012-9614 .
- Nakamura Y., Hirota K., Shibuno T., Watanabe Y. (2012): Variability in nursery function of tropical seagrass beds during fish ontogeny: Timing of ontogenetic habitat shift. *Marine Biology* (in press).
- Yasuda Y., C. Taquet, S. Nagai, M. Fortes, Suharsono, H.A. Susanto, N. Phongsuwan and K. Nadaoka (2012) :Genetic structure of *Culcita* sp. pincushion seastar in the Coral Triangle. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium* (Accepted)
- Ohta K., N. Yasuda, S.Nagai, K. Oki, C. Taquet and K. Nadaoka ((2012): Observations of *Culcita novaeguineae* spawning events. *Galaxea*, 13, 1–2
- Matsuki Y., Nakajima Y., Lian C.L., Fortes M., Uy W., Campos W., Nakaoka M., and Nadaoka K. (2012): Development of microsatellite markers for *Thalassia hemprichii* (Hydrocharitaceae), a widely distributed seagrass in the Indo-Pacific. *Conservation Genetics Resources* (in press).
- Fortes, M. D., Go, G. A., Bolisay, K., Nakaoka, M., Uy, W. H., Lopez, M. R., Leopardas, V., Leriorato, J.,

- Allyn Pantallano, A., Paciencia Jr., F., Watai, M., Honda, K., and Edralin, M. (2012) Seagrass response to mariculture-induced physico-chemical gradients in Bolinao, northwestern Philippines. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9-13 July 2012, [http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012\\_15B\\_3.pdf](http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_15B_3.pdf)
- Watanabe, A., Yamamoto, T., Nadaoka, K., Maeda, Y., Miyajima, T., Tanaka, Y. (2012) Spatio-temporal variations of CO<sub>2</sub> flux in a fringing reef simulated with a newly developed carbonate system dynamics model. Coral Reefs. DOI 10.1007/s00338-012-0964-2
- Takahashi A., Kurihara H. (2012): Ocean acidification does not affect the physiology of the tropical coral *Acropora digitifera* during a 5-week experiment. Coral Reefs. DOI 10.1007/s00338-012-0979-8
- Kurihara H., Takano Y., Kurokawa D., Akasaka K. (2012): Ocean acidification reduces biomineralization-related gene expression in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Marine Biology 159: 2819-2826
- Halsband C., Kurihara H. (2013): Potential acidification impacts on zooplankton in CCS leakage scenario. Marine Pollution Bulletin (in press)
- Inoue S., Kayanne H., Yamamoto S., Kurihara H. (2013): Spatial community shift from hard to soft corals in acidified water. Nature Climate Change DOI:10.1038/NCLIMATE1855
- Matsuki Y., Takahashi A., Nakajima Y., Lian C.L., Fortes M., Uy W., Campos W., Nakaoka M., and Nadaoka K. (2013): Development of microsatellite markers in a tropical seagrass *Syringodium isoetifolium* (Cymodoceaceae). Conservation Genetics Resources, DOI 10.1007/s12686-013-9889-5.
- Nakamura, T., K. Nadaoka, A. Watanabe (2013): A coral polyp model of photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism, Coral Reefs, DOI:10.1007/s00338-013-1032-2 (in press)

### 3-2 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

## 4. プロジェクト実施体制

(1)「モデル開発・評価」グループ(統合モデル開発による多重ストレス環境変動の定量的評価と広域生態系応答予測)

①研究者グループリーダー名: 灘岡 和夫 (東京工業大学大学院情報理工学研究科・教授)

②研究項目

- ・多重ストレス評価モデルのベースとしての「大気-陸域-沿岸域-海洋」統合物理流動・物質循環モデルの開発
- ・統合モデルに基づく熱帯沿岸生態系への多重ストレス変動の定量的評価と生態系の動的応答予測
- ・統合物理流動・物質循環モデルと幼生分散過程モデルのカプリングによる reef connectivity への多重ストレス影響の定量的評価と予測
- ・台風や油流出等の episodic event による沿岸生態系への負荷評価モデル開発と応用

(2)「生態学」グループ A(生態学的アプローチによる熱帯沿岸生態系の生物多様性・生態系機能維持機構と多重ストレス応答評価)

①研究者グループリーダー名: 仲岡 雅裕 (北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所・教授)

②研究項目

- ・多重ストレス環境変動と生態系応答の常時モニタリングシステムの構築と現地展開
- ・サンゴ礁, 藻場, 干潟, マングローブ等から構成される local habitat 内での生物多様性・生態系機能の相互成構造の解明および多重ストレスに対する応答過程評価
- ・サンゴ礁, 藻場, 干潟, マングローブ等から構成される local habitat 内での生物多様性・生態系機能の多重ストレスに対する応答過程評価
- ・巨大台風や大規模出水, 油流出事故等の episodic event による熱帯沿岸生態系の攪乱と回復過程の解明

(3)「生態学」グループ B(分子生物学的アプローチによる熱帯沿岸生態系の生物多様性・生態系機能維持機構と多重ストレス応答評価)

①研究者グループリーダー名: 練 春蘭 (東京大学アジア生物資源環境研究センター・准教授)

②研究項目

- ・多重ストレス環境変動と生態系応答の常時モニタリングシステムの構築と現地展開
- ・熱帯沿岸生態系における海草やその他のサンゴ礁海産生物の集団遺伝学的解析による生物多様性評価
- ・遺伝的解析による熱帯沿岸生態系における主要海産生物の繁殖特性の解明
- ・集団遺伝学的解析による熱帯沿岸生態系における reef connectivity の実態解明

(4)「地球化学」グループ(物質循環把握に基づく沿岸生態系への多重ストレス波及過程の解明)

①研究者グループリーダー名: 宮島利宏 (東京大学大気海洋研究所・助教)

②研究項目

- ・熱帯沿岸生態系への陸源負荷の作用過程の解明
- ・熱帯沿岸生態系を含む広域系としての海-陸統合系における物質循環の時空間動態解明
- ・地球環境変動影響とローカル環境ストレスの複合作用過程の解明
- ・CO<sub>2</sub> 放出・吸収特性から見た沿岸生態系の評価

以上