



サンゴ礁学 NewsLetter

—複合ストレス下の生態系と人の共生・共存未来戦略—

Vol.6

文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究)の支援を受けた、人とサンゴ礁の新たな共生関係を構築するための研究プロジェクト「サンゴ礁学」の進捗状況をお伝えします。



国際サンゴ礁学会第12回大会 in オーストラリア・ケアンズ ミニシンポジウム開催&展示ブース出展

“Coral reef response to multiple stresses: organisms to ecosystems” ミニシンポジウム「サンゴ礁のストレス応答：生物から生態系」開催報告

日高道雄 (A01班代表/琉球大学理学部)・茅根 創 (領域代表/東京大学大学院理学系研究科)

4年に1回開催される国際サンゴ礁学会、2012年の第12回はオーストラリアのケアンズで7月9日から13日まで開催されました。「サンゴ礁学」の日高 (A01班)・茅根 (C01班) は、台湾のAllen Chen博士、Jih-Terng Wang博士とともに、ミニシンポジウム「サンゴ礁のストレス応答：生物から生態系」を提案し、「サンゴ礁学」の成果を紹介するとともに、アジア・太平洋のサンゴ礁域と比較・適用を議論する場を設けました。本ミニシンポジウムは、会期最後の12、13日の両日開催され、23件の口頭発表と8件のポスター発表があり、うち口頭7件、ポスター6件が「サンゴ礁学」の研究者によるものでした。

フィールドは、日本、タイ、インドネシア、ハワイ、グレートバリアリーフなど東南アジア・太平洋だけでなく、カリブ海、ブラジル、セーシェル、紅海などからもありました。対象とするストレスは、水温、酸性化、富栄養化、濁度など、「サンゴ礁学」で主要なストレスとしているものだけでなく、オイル、UV、波浪や台風、農業、病気など様々で、その複合ストレスを、実験、フィールド、モデルから明らかにするものもありました。

日本人以外の参加者の講演では、90年代にサンゴのcDNAアレイを使った研究を開始したEdge博士が、石油やその分散剤、黒帯病感染などの複数のストレスがサンゴの健康に与える影響をcDNA マイクロアレイを用いた環境毒理学の手法で調べていました。海水温上昇がサンゴ表面の粘液層の厚さを減少させるというPratte博士の報告、サンゴ骨格の生物浸食の程度をマイクロCTで定量化し、サンゴ礁内の

微環境の変異と関連づけたSilbiger博士の報告も興味深いものでした。Stat博士は、温度ストレス強度の過去20年間の記録とサンゴに共生する褐虫藻の遺伝子型組成の関連について発表しましたが、その際に、次世代シーケンサーを用いてサンゴ群体内の褐虫藻組成を調べると、ほとんどのクレードの褐虫藻が出現したと報告しました。このことは、サンゴ内褐虫藻の遺伝的多様性がこれまで考えられていたより遥かに高い可能性を示唆するものであり、特に興味深い発表でした。

1990年以降国際サンゴ礁学会は規模が拡大し、今回は全体で

72ものミニシンポジウムがありました。サンゴ礁のストレス応答を扱うものも多かったのですが、そのほとんどが酸性化や温暖化、栄養塩など特定のストレスに絞っているのに対して、本ミニシ



写真：ミニシンポジウムで司会進行する茅根領域代表 (C) 高橋麻美



写真：ミニシンポジウムで発表したC01班の井上志保里さん (C) 高橋麻美

ンポジウムでは、サンゴ礁が受けている複合的なストレスをどのように理解したらよいか、「サンゴ礁学」の成果をより広く議論する上で貴重な機会となりました。



写真：国際サンゴ礁学会の案内看板 (C) 山本高夫

展示ブース出展報告 山野博哉 (B01班代表/国立環境研究所)

「サンゴ礁学」では、2012年7月9日から13日にオーストラリア・ケアンズで行われた国際サンゴ礁学会第12回大会にて、日本サンゴ礁学会、台湾サンゴ礁学会と、第3回アジア太平洋サンゴ礁シンポジウムを開催予定の国立海洋生物博物館でブースをシェアして出展を行いました。ブースでは、「サンゴ礁学」全体の説明、各班の概要説明、B01班で北海道大学に設立したサンゴコアセンターの説明に関する計8枚のポスターを掲示し、若手がもちまわりでブースでの説明を行いました。茅根領域代表と日高A01班代表が議長となって開催したミニシンポジウムとともに、「サンゴ礁学」の成果を広報する良い機会となりました。こうした海外での活動とともに、国内においても、第15回日本サンゴ礁学会大会のシンポジウムなどで、研究成果の普及を図っていきたいと思います。



写真：ブースで「サンゴ礁学」の説明を行う公募研究の栗原晴子さん (C) 井口 亮

ブースの出展と運営に関しましては、日本サンゴ礁学会広報委員会にご尽力いただきました。ここに記して感謝いたします。



写真：ミニシンポジウムで発表したC02班の中村隆志さん (C) 山本高夫



計画研究班の 研究紹介

領域開始から5年目となる今年、「サンゴ礁学」はいよいよ最終年度を迎え、最終の研究成果の取りまとめを行っています。ここでは6つある計画研究班の最終成果に向けた進捗状況をご紹介します。

現在の仕組みを解明する 研究項目 A ● ストレス応答の素過程解明

計画研究 A01班

複合ストレスに対するサンゴ・褐虫藻共生系の応答

日高道雄（琉球大学理学部）

1. ストレス特異的な遺伝子発現変化

ウスエダミドリイシの一次ポリプを、高温ストレス、有機スズ(TBT)、光合成阻害剤(DCMU)に暴露し、発現変化する遺伝子を調べました。その結果、各ストレスに特異的に反応して発現が上昇する遺伝子が見つかりました(図参照)。これらの遺伝子は、ストレス特異的に応答する可能性があり、将来、遺伝子発現を調べることによりサンゴの受けているストレスを推測することができるようになる可能性が示唆されました。

2. 褐虫藻のタイプにより宿主サンゴの遺伝子発現が変化

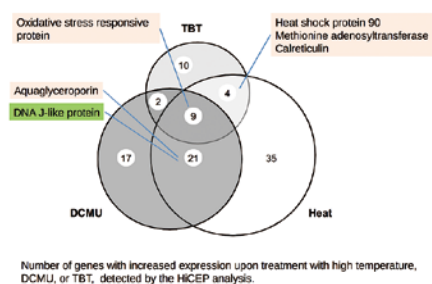
ウスエダミドリイシ一次ポリプを高温処理した時のストレス関連遺伝子発現変化の方向が、クレードAとクレードDのどちらの褐虫藻と共生しているかにより異なることが分かりました。褐虫藻タイプによる宿主遺伝子発現の違いが、サンゴ細胞内の酸化ストレス強度の違いによるものなのか、宿主と褐虫藻との相互作用の結果であるのか、今後の研究が待たれます。

3. 褐虫藻を含むハナヤサイサンゴ幼生のストレス耐性

ミドリイシ属サンゴの幼生に人工的に褐虫藻を感染させると、高温や強光ストレス感受性が高まります。ストレス条件下では褐虫藻が活性酸素発生源となるためと考えられます。一方褐虫藻を親から受け継ぐ垂直伝播型のハナヤサイサンゴの幼生は、多くの褐虫藻を含むにもかかわらず、高いストレス耐性を示すことが分かりました。ハナヤサイサンゴ幼生の高ストレス耐性の秘密を解明することができれば、サンゴのストレス耐性を高める方法が分かるかもしれません。

4. サンゴ遺伝子型間における環境応答差について

ミドリイシ属サンゴおよびハマサンゴの同種内遺伝子型間で生理的な環境応答に著しい差がみられることが分かってきました。1990年代から継続して行っている沖縄本島北部(本部町海域)のサンゴ群集及び幼生定着数のモニタリングの結果、通常はミドリイシ属サンゴ幼生の分散距離は比較的短く、ローカルな環境変化にサンゴ群集が適応できる可能性が示唆されました。



(Yuyama et al. 2012)

図、各ストレスに対し発現が上昇した遺伝子の数を示す。肌色と緑はそれぞれサンゴ、褐虫藻の遺伝子を示す。発現変化はHICEP法による(Yuyama et al., 2012を改変)

計画研究 A02班

複合ストレス下におけるサンゴ礁生態系・物質循環共生系の素過程

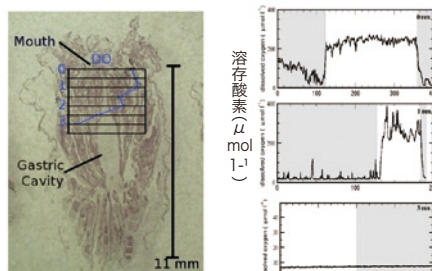
鈴木 歎（静岡大学創造科学技術大学院）

複合ストレスがどのようにサンゴに影響するのか、その応答を知るためには、サンゴが生息している環境の調査研究だけでは不十分であることを明らかにしました。特にサンゴと海水の間の海水の交換は、半閉鎖的な状態である可能性が非常に高く、環境変化やストレス応答を知るためにはサンゴの生体内部の研究の重要性が増しています。A02班では、(1)サンゴ礁は不均一であること、(2)サンゴと海水の間には1:1の応答はないという仮説を証明するための研究を推進しました。その成果の主なものは以下の通りです。

(1)サンゴ礁生態系の基礎生産者はサンゴに共生する褐虫藻だけでなく、海草、大型藻類、植物プランクトン、シアノバクテリア、サンゴの骨の中の藻類と多様な生産者がいます。サンゴ礁の基礎生産量の再構築と再評価ができました。サンゴ礁は本当に貧栄養海域かという間に新たな回答を与えることができました。(2)サンゴと褐虫藻およびバクテリアの複合共生システムと環境ストレスとの関係からサンゴの白化についてのメカニズム、特に水温上昇と褐虫藻とバクテリアの増殖に関する関係と白化が起きるプロセスを明確化しました。

(3)環境ストレス下におけるサンゴの生命維持と物質循環との関係のより詳細な理解が、サンゴ内部の初めての研究により明確になりました。(4)C02班の生態系応答モデルの構築に向けて、水温と光強度および栄養塩、二酸化炭素濃度の変化におけるサンゴ代謝のパラメータの提供が可能になりました。(5)ストレス下における複合共生理解のための化学共生の研究の重要性を明確化しました。酵素、色素、抗酸化物質を指標とするサンゴの健康状態の定量化を促進しました。

以上から従来不明であったサンゴとサンゴ礁に関係する生物・化学の共生システムに関する新たな研究方法・成果を得ることができました。



サンゴ体内の溶存酸素濃度の鉛直分布：還元状態の存在発見

図、サンゴ体内の溶存酸素濃度の鉛直分布：還元状態の存在発見

過去からの変化を解析する 研究項目 B ● 歴史的变化

計画研究 B01班

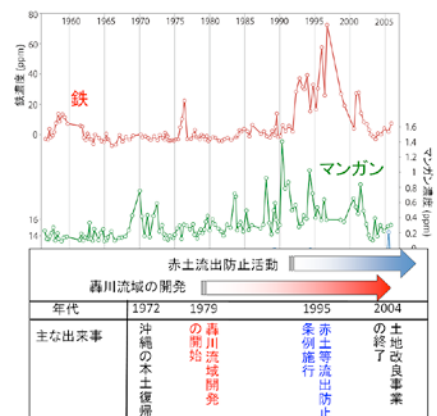
ストレスとサンゴ礁の歴史的变化

山野博哉（国立環境研究所）

B01班では、空中写真、衛星データ、地図、報告書データ、サンゴ年輪解析データなど客観的なデータに基づいて過去100年間のストレス要因とサンゴ礁の歴史的变化を解析し、ストレスの増加とサンゴ礁の衰退を検証します。これまでに、石垣島において、陸域では、1924年から現在にかけて土地利用図、空中写真、衛星データ、農業センサを集め、農地面積が増えて陸からの赤土流入が増加している可能性を示しました。海域では、化石と現在の塊状のサンゴのコアを採取して、サンゴの骨格の密度や骨格に含まれる成分を分析しました。

サンゴ年輪の分析は、採取地点でのサンゴの探索から始まり、掘削許可申請、コアの掘削作業、半割してX線撮影による年輪の確認、年輪に沿っての骨格の削り出し、そしてその中に含まれる成分の化学分析、と大変手間と時間のかかる作業です。初年度にコアを採取し、北海道大学にサンゴコアセンターを設立して分析を進めており、結果が出てきました。図は石垣島白保のハマサンゴから採取した骨格に含まれる重金属(鉄とマンガン)の分析結果です。1980年代になって重金属の割合が増加したことが示されています。これこそが、陸域からの流入負荷を示す証拠です。グラフの下には主な出来事を並べてみました。こうした社会的な背景や土地利用変化との関係を今後さらに考察していきます。

我々は、同じコアに含まれる重金属以外の金属や、蛍光、同位体比の分析も進めています。これらは、それぞれ水温、降水量、窒素源などの指標となります。そして、これらの要因はサンゴ、そして骨格の密度に影響を与えていると考えられます。最終成果に向けて、化学分析の結果を揃え、画像データからわかる土地利用やサンゴの被度の変化と年輪から得られる情報を統合し、ストレスとサンゴ礁の歴史的变化を実証し、画像とサンゴ年輪の有用性を示していきたいと考えています。



図、石垣島白保の河口域から採取したハマサンゴ年輪に含まれる重金属の割合の変化(石川ほか、日本地球惑星科学連合2012年度連合大会発表資料より)

過去からの変化を解析する 研究項目B ● 歴史的変化

計画研究 **B02班****サンゴ礁
—人間共生系の景観史**

深山直子 (東京経済大学コミュニケーション学部)

B02班の文化人類学グループは、過去から現在に至るまでの約100年間に、石垣島の住民がサンゴ／サンゴ礁をどのように利用してきたのかを調べ、それを通じてサンゴ／サンゴ礁の社会的・文化的意義を明らかにすることを、研究の目的としています。最近ではサンゴの直接的利用に関心を寄せてフィールドワークを実施してきました。その結果、生きているサンゴと石化したサンゴは共に、住居・石垣・墓・御嶽(聖地)を形作る建築材として頻繁に利用されてきたことがわかりました。

なかでも注目に値するのは、代替物のない建築材として、大量に製造・利用されていたと推測される漆喰です。石垣島では、サンゴを専用の窯で焼いていわゆる石灰を作り、それに稲わらや水を混ぜて漆喰に加工し、屋根瓦を葺くなどする伝統的左官をムチャヤーといいます。沖縄において周辺に位置する島ではかつて、都市型職人である左官はいなかったといいますが、20世紀初頭より、先祖代々左官業を営んできた人々が沖縄本島の首里・那覇から移住し活躍するようになりました。住宅の建築軒数が増えるにつれて、左官業の需要はより一層高まり、戦後の復興期においては新規参入する住民も登場するようになりました。

現在石垣島では伝統的左官業は消えつつありますが、かつてそれを生業としていた3人に聞き取り調査を実施することができました。その結果、一人は親世代で那覇から白保に移住し、那覇からの漆喰移入・販売業を経て左官業を開始したこと、一人は祖父母世代で首里から四箇に移住し、先祖代々左官業者に従事していること、もう一人は代々四箇の住民で、四箇と那覇での複数の職業を経て左官業を開始したことがわかりました。彼らはそれぞれの「系譜」に基づき、重なりつつもずれる知識や人脈を持っており、それが仕事の具体的内容、とりわけサンゴの採集・収集方法にも差異をもたらしています。

B02班のその他の進捗状況については、代表山口徹が執筆したB02班・B01班・C01班名蔵合同調査報告(p.6掲載)をご覧ください。



写真: キクメイシの礎石とハマサンゴの縁石

未来を予測し、新たな人との共生関係を構築する 研究項目C ● 複合ストレス応答モデル

計画研究 **C01班****地球温暖化に対する
サンゴ礁の応答**

茅根 創 (東京大学理学系研究科)

サンゴ礁は、温暖化による白化、二酸化炭素濃度の上昇に伴う酸性化による石灰化抑制、海面上昇による水没と、地球温暖化のシナリオのすべての要因と密接に関わり、すでにその影響によって変化が進んでいます。

石垣島白保サンゴ礁では、1998年以降15年間にわたるサンゴ群集のモニタリングによって、繰り返し起こる白化と栄養塩や土砂の流入などのローカルな環境負荷、さらに台風のダメージによって、サンゴ群集から藻類が卓越する生態系にシフトしてしまったことが明らかになりました。ストレスレベルが元に戻った後も、サンゴ群集の回復が進んでいません。これはストレスに対する生態系の非線形応答と考えられます。こうしたストレスに対する応答とその後の回復過程は、サンゴの種によって異なります。

地形・生態系スケールのサンゴ礁の維持と形成には、海面上昇に加えて、気候変化や台風に対する鍵となるサンゴ種の応答が、重要な影響を与えることがわかりました。さらに白保サンゴ礁では、夜間の呼吸によって二酸化炭素濃度が上昇すると、マグネシウムに富む石灰質堆積物の溶解が始まっていることがわかり、堆積物中で溶解が起こるメカニズムが明らかにされました(写真)。

一方、二酸化炭素が湧き出している硫黄島では、サンゴ群集がソフトコーラルにシフトしています。湧き出す二酸化炭素濃度は、ちょうど今世紀末の生態系の状態を模して天然の現場実験の場と言えます。高二酸化炭素濃度に対するサンゴとソフトコーラルの応答の差異は、飼育実験によっても確認されました。

地球温暖化に対するサンゴ礁の応答は、単純ではありません。様々な要因が複合し、サンゴ群集の変化も一様ではありません。変化のプロセスとその閾値を、遺伝子、サンゴ、サンゴ共生藻、群集、生態系の間で一貫した機構として解明することによって、他の生態系の応答予測にも適用できるモデルを提供することが本研究の目標です。

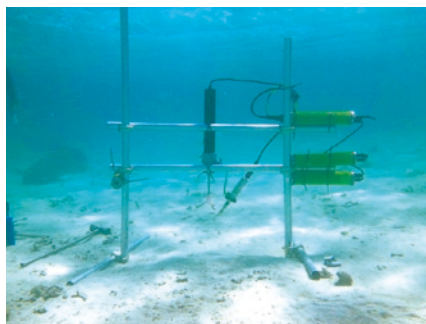


写真: 渦相関法による堆積物粒の酸素フラックス測定

計画研究 **C02班****複合ストレスの包括的評価・予測と
サンゴ礁生態系応答モデル解析**

灘岡和夫 (東京工業大学理工学研究科)

C02班では、複合ストレス評価に関して、地下水や農地経路で平常時及び出水時に流出する陸源負荷や大気経路負荷の特性を把握するための現地観測を実施しました。また陸源負荷の生成・制御過程のモデル化に必要な社会経済的な調査の一環として、畜産業者への聞き取りによる営農形態の現状把握調査と、土地利用状況の現地踏査を実施しました。フィールド調査のハイライトとして、サンゴ礁学 NewsLetter Vol.5内で中村隆志さんが紹介されていたチャンパー実験ですが、その後も装置の改良、実験手法の工夫を重ね、白保サンゴ礁において当面のモデル化に必要な生きもの達に関して、今年の夏〜秋に掛けての集中調査で、実験を終えることができました(詳しくはp.6渡邊さん執筆原稿参照)。

生態系応答モデルの開発に関しては、サンゴ群体内部の応答過程を表す「内部モデル」をA02班等との共同で集中的に開発を進めました。開発に際しては粘液の放出、赤土の堆積・除去、サンゴの成長・死亡、白化現象等を考慮し、流速や栄養塩、pH(海洋酸性化の指標)、温度、赤土濃度に対する応答を評価できる様になってきました。これにより生態系の短期応答については、既に開発済みの炭酸系動態や栄養塩、有機物の物質循環モデルを組み込んだ3次元流動モデルと結合することで、評価可能となる見込みです。一方、C01班が過去14年間にわたり継続的に調査している、石垣島白保サンゴ礁の測線調査の結果の様な長期応答に関しては、3次元流動モデルによる再現実験は計算負荷が大きすぎて現実的で無い為、ボックスモデルを用いてリーフ内の状況を簡略化して表現することで、長期シミュレーションを行う検討を行っています。最終成果に向けて、短期応答、長期応答モデルによる解析を進め、様々な複合的ストレス発生シナリオに対してサンゴ礁がどのように応答していくか将来予測ができればと考えています。

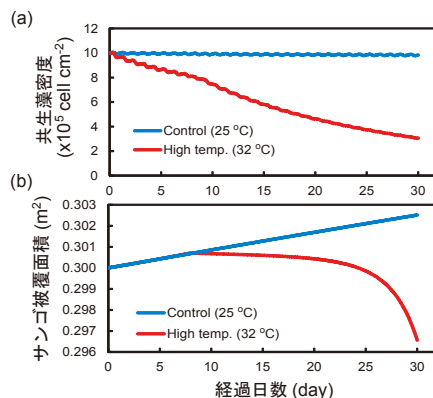


図. 内部モデルを用いたサンゴの高水温応答(白化現象)のシミュレーション結果の一例。(a) 共生藻密度の時系列変化と、(b) サンゴの被覆面積の時系列変化。



サマースクール2012開催

2012年9月17日～22日、琉球大学瀬底研究施設で「サンゴ礁学」サマースクールを開催しました。今年で4回目となる「サンゴ礁学」サマースクールですが、昨年から全国の大学から参加者を募集し、今年は関係者以外の大学からの参加も多く、計11大学27名の大学生・大学院生が参加しました。

スケジュール

9月17日(月・祝)

- 午後 ●オリエンテーション(実習の説明・施設案内)
●講義「サンゴ礁学」茅根 創(東大)
- 夜 ●若手の会主催「ひらやーちーパーティ & スライドショー」

9月18日(火)

- 午前 ●講義・実習「サンゴの生物学・サンゴの観察(生体・骨格・褐虫藻観察)」波利井佐紀(琉大)
- 午後 ●実習「スノーケリングの練習とサンゴ礁の観察」酒井一彦・中野義勝(琉大)
- 夜 ●講義「サンゴの生態学」酒井一彦・若手の会

9月19日(水)

- 午前 ●講義「複合ストレス下におけるサンゴ礁の化学物質」藤村弘行(琉大)
- 午後 ●講義・実習「サンゴ礁の測線調査」中村 崇・酒井一彦(琉大)
- 夜 ●講義・ディスカッション
「サンゴから見た動物の進化」赤坂甲治(東大)
「人材育成」福島朋彦(東大)

9月20日(木)

- 終日 ●陸上巡検
「サンゴ礁地形・地質」茅根 創(東大)
「サンゴ礁保全と地域づくり講演・サンゴ種苗生産施設の見学」比嘉義規(恩納村漁協)
「恩納村嘉田湯原赤土対策」山野博哉(国環研)
- 夕方 ●講義「赤土対策の現状」金城孝一(沖縄県衛環研)
- 夜 ●若手の会主催学生ディスカッション
「瀬底島を海洋保護区にするためのルール策定会議(ロールプレイング)」

9月21日(金)

- 午前 ●講義
「絡み合うサンゴ礁と人の歴史学」山口 徹(慶應大)
「備瀬スノーケリング説明」中野義勝(琉大)
「海洋酸性化のサンゴ礁生物での研究」栗原晴子(琉大)
- 午後 ●実習(下記2班に分けて交代で実施)
1班「海洋酸性化のサンゴ礁生物での研究」栗原晴子(琉大)
2班「備瀬スノーケリング」中野義勝(琉大)
※班の入れ替え
- 夜 ●若手の会主催BBQ

9月22日(土)

- 午前 ●掃除 & 片づけ・アンケート記入後解散



サマースクール総括

茅根 創 (領域代表/東京大学大学院理学系研究科)

本年も無事、「サンゴ礁学」サマースクールを終えることができました。講師と若手、受け入れ・運営に尽力された琉球大学瀬底研究施設のスタッフ、事務局に、心から感謝いたします。

サマースクールは、「サンゴ礁学」の成果を広く若い学生たちに学んでもらうことを目的として、2009年から毎年行ってきました。これまでにのべ32大学から101名の学生が受講しました。「サンゴ礁学」が学際的な研究分野の創成を目指していたことから、このサマースクールも生物・生態学、地学、化学、人文科学など、本領域に参加する様々な分野の研究者が講師として講義を行ってきました。またポスドクや大学院学生など、若手の研究者が実習やディスカッションを積極的に企画、運営して下さり、内容は年を追うごとにブラッシュアップされ、充実した内容になりました。

「サンゴ礁学」は本年度で終了します。しかし、充実した教育プログラムになった本サマースクールをプロジェクトの終了とともにやめてしまうのは、いかにも惜しいです。大学の教育プログラムの中に位置づけられないかと考



写真:茅根領域代表講義「サンゴ礁学」

えているところです。現在、来年度以降、東京大学の海洋アライアンスの教育プログラムとして継続することを検討しているところです。海洋アライアンスは、海に関する分野横断的な研究・教育を推進しており、既存の縦割りの大学のカリキュラムには収まりきらない「サンゴ礁学」の学際的・地域連携的教育を進める適切な場と考えています。どのような枠組みで行うにしても、全国の大学から文理を問わず受講生を集める仕組みは維持していきたいと考えています。

東京大学 海洋アライアンスの赤坂先生・福島先生にサマースクールを評価していただきました。

赤坂甲治 (東京大学大学院理学系研究科/東京大学 海洋アライアンス)

実習の後に、毎日深夜まで行われるグループディスカッションは、個々の学生が得た知識を有機的に共有するシステムとして有効であると感心しました。視点を政策まで広げたプログラム後半では、学生たちが研究者、漁業者、農家、行政の立場になりきって環境保全・地域振興について活発に議論を戦わせており、日々成長していく姿は大変頼もしく思いました。「サンゴ礁学」サマースクールの成功には、若手サンゴ研究者のご尽力があるからこそと思いました。



写真:学生ディスカッション

福島朋彦 (東京大学 海洋アライアンス)

「サンゴ礁学」を新しい学術領域に位置付けようとする試みは意欲的だと思います。その熱意はサマースクール初参加の私にも直に伝わってきました。一方で新学術領域をめざす理由は何なのでしょう？レクチャーや若手の会の取り組みの中から確固たる答えを見つけられませんでした。人とサンゴ礁の新たな共生を理念に掲げるならば、教員が主体となって、文学や芸術も包含した新しい文理融合型プログラムを目指して欲しいと感じました。



写真:東大海洋アライアンス福島先生話題提供

サマースクールに参加した 学生の感想



実物サンゴ礁のインパクト ①

小林 淳希

(北海道大学水産学部海洋生物学科2年)

やはり一番印象に残ったのはスノーケリングで実物のサンゴ礁生態系を見たことです。以前から本やテレビでサンゴ礁などを見てきましたが、目の前にある本物のサンゴ礁はひと味もふた味も違っていました。ここ数年で最も夢中になった自分がいた気がします。実験所の近くを散歩するとヤドカリが歩いていたり、夜は星が綺麗だったり、瀬底島という独自の環境を持つ「うちなー」な感じが実習のいろんな所に出てくるのも魅力的でした。今回の経験、絶対忘れません。全てに感謝します。



写真:スノーケリング実習

沖縄の自然環境と調和した文化 ②

長谷部 潤樹

(金沢大学地域創造学類環境共生コース3年)

3回のスノーケリングの中、サンゴ礁と藻場、両方がある場所を観察することで、生物多様性の違いを目の当たりにすることができました。スノーケリングの際に通った備瀬の風景も沖縄の風土と調和した生活様式や文化を知ることができて、人文科学や社会科学との連携の重要性を改めて認識しました。私の目的であった観光とは違った沖縄のサンゴ礁の側面を研究の側面から見るという目的は達成されました。研究者や現地の関係者の方の話、実習での経験は、自分で勉強しているだけでは得られない貴重な経験となりました。



写真:備瀬公民館前

サンゴ礁学の懐深さと面白さ ③

松下 知広

(慶應義塾大学大学院経済学研究科修士2年)

サンゴ礁に対するアプローチが生物学以外にも経済学や社会学などあることを知り、サンゴ礁学のふところの深さを学びました。最初はサンゴ礁について何も知らない私が参加して大丈夫なのかと不安でしたが、分かりやすく工夫された講義や、スノーケリング等の実際に目で見て肌で感じた体験のおかげで、私の知識や興味は乾燥したスポンジに水をやるが如く、グイグイと広がっていきました。今後も文理の垣根なくより多くの人が、サンゴ礁学の面白さを知ることが出来たらと思います。



写真:多分野の講義

多角的な視野をもって 研究をする ④

入江 美和

(長崎大学大学院水産環境科学総合研究科修士1年)

私は現在すでに研究に着手しています。そのせいか、自分の専門分野だけにとらわれて、それ以外の研究や学問について見えていない状態だったと思います。しかし、サマースクールにおいてサンゴ礁学という多様な分野からなる学問を学び、自分の研究もそのように様々な学問からなるものであり、より多角的な視野をもって取り組む必要があると感じました。サンゴ礁が抱えているグローバル・ローカルな問題について知ることができ、私にとってサンゴはとても大切な生物となりました。



写真:サンゴ礁の測線実習

他大生とのディスカッションで 学んだこと①

大岩 めぐみ

(琉球大学理学部海洋自然科学科2年)

一口にサンゴと言っても広範囲の理系分野だけでなく、歴史や漁協の方からのお話など多分野を学ぶことは、大学では出来ない経験だったと思います。また、話し合う機会が多く、人の意見を素直に聞くこと、自分の意見を分かりやすく伝えることがどれほど重要かを再度気づかされました。皆で活発に意見を出し合い考えることによって、ただ事実を知るよりも深く学ぶことができました。これからの研究や進路など、将来にこの経験が活かせるよう頑張っていきたいです。



写真:若手BBQ

他大生とのディスカッションで 学んだこと②

萩尾 華子

(三重大学生物資源学部生物圏生命学科3年)

ディスカッションや共同生活を通して、他大生から刺激を受け、今までにない興奮を味わいました。理系から文系にわたるサンゴ礁学は、どの研究分野でも見本となる研究スタイルです。現在、関わり合う農業や漁業、林業などの地域社会は、分裂してバランスを崩しています。よって、サンゴ礁学を今後の研究模範として世界へ発信し、サマースクールで将来を担う学生の可能性を広げてほしいです。この流れをつくれば、私達のように真剣にディスカッションに加わり、周囲の人々の熱意を生み、連携が成立し、社会が改善の方向へ導かれると考えます。



写真:ロールプレイング「瀬底島を海洋保護区に」

● 異分野連携 ● 合同調査報告

「サンゴ礁学」では文理融合・異分野連携を促進するため、3つの連携課題を設置し、フィールドを共有した合同調査を進めています。この夏、コアサイトに設定した石垣島の白保と名蔵で合同調査を実施しました。

C02班・C01班・A02班

この夏の合同「チャンバー」実験 & 白保住民向け説明会開催報告

渡邊 敦 (C02 班 / 東京工業大学大学院情報理工学研究科)

サンゴ礁学最終年度のこの夏、C02 班を中心に C01 班や A02 班と連携して開発してきました「チャンバー」を利用した、本格的なフィールド調査を石垣島の白保海域で実施しました（チャンバーの詳細は、前号 p1 の中村隆志さんの記事をご覧ください）。調査の目的は、サンゴ礁生態系応答モデル構築の為に、白保サンゴ礁に棲む「生きもの」達の状態（例えば単位面積当りの光合成色素、生物量、表面積、容積等）とその代謝（光合成、呼吸、石灰化、溶解）を測り、これらの間の関係性を明らかにすることです。

今回、白保で多く見られるオトメミドリイシ、ユビエダハマサンゴ、砂地（砂地にも生物がいます！）を対象に、各 24 時間実験しました。実験中、ロガータイプのセンサー 1) で溶存酸素や pH、クロロフィル、濁度、水温、光量子をモニターするとともに、定期的に炭酸系や有機物、栄養塩の試料を採水しました。また実験後、チャンバー内生物のバイオマス、クロロフィル含量、表面積、容積等を測定するために、坪刈り 2) を実施しました。24 時間実験明け、

寝不足でナチュラル・ハイになった状態でロガーから出てくる溶存酸素や pH のデータを見て、その美しい変化に私はにんまりして眠りが遠のきました。近く結果を解析し、皆さんにご報告できる様、目下資料の分析・解析に励んでおります。

なお今回の調査に際して、いつも目の前の海で調査させて頂きながら、なかなかお話しする機会の無い地元の方達に対し、私達のチャンバー実験の目的や内容をご説明する機会を浪崎さん中心に設定いただき、実現できました。私達の説明に熱心に耳を傾けていただき、沢山質問を頂いたことも有り難かったですが、それよりも地元の海人の方達の経験に基づく海の様子やその変化をお聞きするのが為になりました。説明会という堅苦しい名前では無く、地元の魚や酒を口にしながらかつてこういった話を出来る会もあれば良いと思います（調査中は作業に追われ時間が無くなかなか厳しいのですが…）。



写真：オトメミドリイシを用いたチャンバー実験(写真：中村隆志氏撮影)



写真：2012年8月5日に白保公民館で開催した白保住民向け説明会の様子(写真：佐川鉄平氏撮影)

注釈

1)ロガータイプのセンサー：自記式のセンサー。センサー内部にあるメモリーにデータを記録する。
2)坪刈り：全体のバイオマス(現存量)を把握するために、ある一定の範囲の生物を採捕し調べること。

■ B02班・B01班・C01班 名蔵合同調査報告

山口 徹 (B02 班代表 / 慶應義塾大学文学部)

ウェットスーツではまだ肌寒い 3 月の名蔵湾に、震える学生たちを漁船に残して、B01 班の山野博哉さんと潜りました。水深 2 メートル程度の浅い海ですが、陸域調査ばかりの私には、きらめく水面の下でコアサンプラーを打ち込む作業が少し不思議な気分でした。合間に辺りを見回すと、すでに斃死したサンゴの群体があったので、そのサンプルも採取しました。C01 班の菅浩伸さんから以前いただいた名蔵湾内ハマサンゴの斃死年代と比較するためです。前号で紹介したように、ほぼ同じ場所から採取され

た菅さんの試料は約 1000 ~ 1200 年前でした。今回の試料はやや新しい値で、およそ 800 年前でした。

ところで、名蔵湾奥にはマングローブの湿地が広がり、その海側には 800 メートルほど沖合まで干潟や沈水藻場が続いています。そのなかには、干潮時に離水するハマサンゴやイクメイシの化石マイクロアトールが数多く点在しています。その平坦な表面は過去の高海面の指標になるため、「八重山自然塾風音」を主宰する棚原さんにお力添えをいただき、高精度 GPS で 155 個を RTK 観測しました。垂直分布を見ると、すべてが現在の平均低潮位より高く、しかもマングローブ湿地の奥から干潟・沈水藻場に向かって低くなるのが分かりました。サンプルを年代測定したところ、湿地奥の潟湖で 5000 年前、湿地出口で 3500 年前、干潟から沈水藻場で 2100 年前という結果がえられました。すなわち、沖合に向かって高さが下るほど離水時期が新しいわけで、完新世中期の高海面が現在の海水準まで下がってきた変動史を反映するものと考えてよいでしょう。

しかし、冒頭で紹介したサンゴは現海面から水深 2 メートルの海底にあるから、その斃死には別の要因を

考えなければなりません。名蔵で実施した発掘調査は、そのヒントになりました。マングローブ湿地からみると陸側に沖積低地が接続し、そこからさらに内陸に向かって低位段丘を刻む浦田原谷戸がのびています。そのなかの休耕田で行った発掘

です。約 1000 年前の地層からは洪水堆積物で埋没した樹木の痕跡が見つかりました。同定が必要ですが、サガリバナやサキシマスオウかもかもしれません。その上の黒褐色粘土層は 800-900 年前の堆積物で、炭化米と炭化ムギが出土しました。詳細な分析はこれからですが、陸域での人間活動、特に森林伐採や農耕活動による土砂流出が古くは 1000 年ほど前から浅海域の環境変化の一因であった可能性が浮かんできたのです。

サンゴ礁と人間の共生共存を考えるには海域と陸域の調査を経験し、両域の環境変化が連動してきたこと把握しなければなりません。名蔵の浅海底で感じた「不思議な気分」は、その重要性を実感的に理解してなかったからだと今更ながらに反省しています。



写真：蔵裏田原発掘地点から検出された炭化米



写真：名蔵湾の干潟で行った化石マイクロアトールのGPS測量

日本サンゴ礁学会第15回大会にて、 サンゴ礁学シンポジウム・日本サンゴ礁学会若手会設立自由集会を開催しました。

2012年11月22日～25日、東京大学にて日本サンゴ礁学会第15回大会が開催されました。「サンゴ礁学」では、最終日25日に5年間の研究成果を公開するシンポジウムを開催、23日には「サンゴ礁学」若手の会のメンバーが中心となり日本サンゴ礁学会若手会設立の自由集会を開催しました。

サンゴ礁学シンポジウム「サンゴ礁学の成果と展望」開催報告

- 主催：新学術領域「サンゴ礁学」 ●共催：日本サンゴ礁学会
- オーガナイザー：酒井一彦、山野博哉、茅根 創
- 報告：酒井 一彦（AO1 班／総括班／琉球大学熱帯生物圏研究センター）

2012年11月25日に上記のシンポジウムを、主に日本サンゴ礁学会員などの専門家を対象として開催しました。本シンポジウムの目的は、今年度で終了する新学術領域「サンゴ礁学」の成果を報告し、今後の展開を議論することでした。

シンポジウムでは、3題の講演がありました（以下、敬称略）。最初に、40分の講演時間を酒井一彦と井口亮が使い、酒井が沖縄県各地で実施してきたサンゴ群集/個体群のモニタリングの成果を紹介し、井口がサンゴの遺伝子解析と水槽実験の成果を紹介し、今後はサンゴの人為的環境変化へのサンゴ・褐虫藻共生体の適応的变化が可能かを、遺伝学と生態学が連携して解明することが必要であることを提案しました。

次に鈴木淑が、生態系の維持機構は物質循環に深く関連しているため、生物素過程と化学の素過程の緊密な融合を進めることが必要であるというユニークな

視点から、サンゴ、褐虫藻、バクテリアを対象とした素過程の研究で得た、サンゴとサンゴ礁に関係する生物・化学の共生システムに関する新知見を、圧巻な情報量で提示しました。

最後に灘岡和夫が、サンゴ礁生態系にはグローバルストレス要因とローカルストレス要因が重なる形で複合的に作用しているため、複合的な環境ストレスがサンゴ礁生態系に波及するプロセスを包括的に評価するために、石垣島白保をモデル海域として選定し、サンゴ礁内での炭酸系や有機物・栄養塩動態のモデル系と、鈴木と連携して、複合ストレス下でのサンゴ群体内の応答素過程のモデルを構築してきたことを紹介しました。さらに灘岡は、石垣島での畜産業がローカルストレス要因のひとつとなっていることも定量的に示し、サンゴ礁学にとっては人間活動の評価も重要であることにも言及しました。講演後、コメンターとしてお越しいただいた小池勲夫（琉球大）、松田裕之（横浜国大）、竹中明夫（国立環境研）の3人の方々と講演者の間で質疑応答と議論が交わされ、今後の課題がさらに明確になったと思います。



写真：シンポジウムにはおよそ150の方々にご来場いただきました。



写真：シンポジウム最後には、助言ボードと他領域の専門家の3名からコメントをいただきました。



写真：コメントには各講演者が返答、目標の達成度に関する質問には茅根領域代表から「異分野連携・文理融合は確かに促進したが、学問構築としては道半ば」と返答がありました。

「日本サンゴ礁学会若手会」設立自由集会開催報告

- オーガナイザー：井上志保里／高橋麻美
- 報告：井上志保里（C01 班／東京大学理学系研究科博士後期課程 2年）

「サンゴ礁学」の博士研究員や大学院生からなる「サンゴ礁学」若手の会では、勉強会やサマースクールといった企画を通じ、異分野間の若手研究者の交流をしてきました。その体験の中で得るものは大きく、「プロジェクト終了後も、日本サンゴ礁学会の若手で分野を越えて自由に議論・情報共有が出来る場を継続させたい」という声が会の中から上がりました。そうして、学会若手の会の立ち上げに向けて、「サンゴ礁学」若手会のメンバーが中心となって学会の若手に働きかけ、第15回大会自由集会を決起集会として、日本サンゴ礁学会若手会が設立しました。「サンゴ礁学」には多分野からのアプローチがあるため、異分野交流は若手に必要だと感じるのは、若手には二つの特徴があるからです。一つは、上下関係が無いことです。より自由に議論が出来る場となるでしょう。もう一つは、良くも悪くも、若手は専門・立場が決まっていません。異分野間の交流を通じて、柔軟な思考を育てやすいというメリットがあります。逆に言うと、数年後はサンゴ礁の分野にはいない方もいます。日本サンゴ礁学会若手会

で得る経験を、サンゴ礁研究の外の社会でもおおいに活かしてもらうことを期待します。そのような若手会ですが、今回の決起集会に至るまでに、プロジェクトの外からも新しいメンバーが加わり、当日も多くの方に来て頂きました。そうして、今回「サンゴ礁学」若手の会から、日本サンゴ礁学会若手会に若手の交流の場が引き継がれる中で、新しく出た認識があります。というのは、「サンゴ礁学」は社会的意義、人とサンゴ礁の共生共存とそのための学術的基礎をつくる、という目的のもとに集まり連携していました。しかし、今後の若手会はプロジェクトではなく自主的なものです。社会貢献のもとに進める研究、科学的興味から起こる研究、様々な多様性ありきで、お互いの存在を知り尊重していくことが大事である、ということを皆で認識し、今後も活発に交流していくことを確認しました。

写真提供：高橋麻美



写真：自由集会前半は、これまでの若手によるサンゴ礁の連携研究例を7名から紹介し、議論しました。



写真：後半は、ワールドカフェ形式で、若手の異分野間・専門外との交流と連携、研究の発展につなげる戦略を話し合いました。

研究紹介

平成23～24年度の公募研究採択課題3件の研究を紹介します。

サンゴの白化耐性における 長鎖多価不飽和脂肪酸含有脂質の 膜遮蔽効果

●奥山英登志

公募研究／北海道大学大学院地球環境科学研究院

膜遮蔽効果とは、長鎖多価不飽和脂肪酸(LCPUFA)がリン脂質成分として細胞膜などを形成する場合、その脂質二重層間にできる疎水層が活性酸素などの親水分子の拡散を阻害するというものです(図1)。本研究の目的はLCPUFAに富むサンゴにおいてもこの機能がはたらい活活性酸素による生体成分の酸化を抑制し、ひいてはサンゴを白化から守っているかどうかを明らかにすることです。ユビエダハマサンゴ(ユビエダ)、オトメドリイリシ(オトメ)、ハナヤサイサンゴ(ハナヤサイ)の順で白化しにくいとされる三種を25℃と32℃で処理したところ、生体膜の主要リン脂質ホスファチジルコリンのLCPUFAの含量はサンゴ組織、褐虫藻ともハナヤサイでは他二種に比べて明らかに低くなるものの、オトメとユビエダでは有意差を示しませんでした。この結果からはLCPUFA含量の高いもののほど高温ストレスに強いとは言えません。しかし、ユビエダは32℃処理で若草色に変わり2カ月以上維持されて、完全に体色を失う二種とは異なりました。新たな材料として白化感受性が特に高く、短期間に体色を失うトゲサンゴを使って実験を続けています。

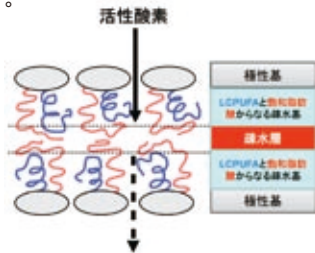


図1. LCPUFAsの膜遮蔽効果を示す模式図。LCPUFAsをもつ細胞が過酸化水素に耐性を示す事実を元に作成。親水分子が活性酸素の過酸化水素に耐性を示す事実を元に作成。親水分子が活性酸素の過酸化水素に耐性を示す事実を元に作成。LCPUFAsの存在は活性酸素の膜透過を阻害するため、細胞は外因性活性酸素に対しては抗酸化性をもつ。サンゴの場合はサンゴと褐虫藻という二種の生物の細胞膜と、ミトコンドリア膜や葉緑体膜が関与するため活性酸素と膜遮蔽効果の関係はより複雑になると考えられる。

地球規模でのストレス(温暖化/酸性化) がサンゴ礁生物群集に及ぼす影響 の解明

●栗原晴子

公募研究／琉球大学亜熱帯島嶼科学域研究推進機構

現在サンゴ礁は、地球規模で引き起こされつつある環境変動の影響を最も顕著に受ける生態系として、その応答が大きく注目されています。

大気二酸化炭素濃度の増加は海水温を上昇させ、さらに水中に溶け込み、海水を酸性化させます。このような急激な環境の変動は、海に生息する生物に様々なストレスを与えることが懸念されています。なかでも、環境の変動に特に敏感とされるサンゴ礁生物は様々な影響を受けることが予測されます。

そこで、私の研究室では、将来予測される環境を実験的に再現し、サンゴやウニ類などをそのような環境に曝した場合、どのような影響を受けるのかを解明することを試みています。その結果、生物種によってストレスに強い種と弱い種、さらには同じ種の中でも、生息する場所によって影響の受け方が異なる可能性が明らかになってきました。

この様な結果から、将来のサンゴ礁の生物群集は大きく変化し、生物の多様性が低下する可能性

が予測されます。今後は、種によるストレス耐性の差の要因や、サンゴ礁の生物群集がどのように変化していくかを解明していきたいと考えています。



写真：サンゴの飼育の様子

人とサンゴ礁の共生・共存系構築の ためのパブリック・リレーションズ 戦略の策定

●関谷直也

公募研究／東洋大学社会学部

サンゴ礁を保全し、人とサンゴ礁が共生する社会を構築するためには、科学的知見をサンゴ礁に関わりのあるステークスホルダーに受け入れてもらえるため戦略が必要です。現在、サンゴ礁保全の取り組みを普及させ、サンゴ礁研究の認知を広げるためにはどうすればよいか、パブリックリレーションズの観点から明らかにしようとして取り組んでいます。サンゴ礁保全にかかわる企業や人々(ステークスホルダー)の特徴を理解するため、現在は、サンゴ礁保全に取り組んでいる企業に対するヒアリング調査を進めています。

サンゴ礁保全とはいえ、宣伝への活用、ブランド向上、PR効果、社員のモラルアップなど、従来の企業のCSR活動、環境への取り組みの延長にあることには代わりがないようです。ただ、サンゴ礁に見たこと接したことのない人も多いこと、身近なものではないこと、サンゴ礁の保全・再生を行うメリット、活動の効果がわかりにくいこと、事業活動とのかわりが見えにくいことなどの難点がある一方、サンゴ礁がフォトジェニックであり、他企業が取り組んでいないことが取り組むメリットとなっているようです。

興味深い点は、いくつかヒアリングさせて頂いた企業の担当者の方が相当経験のあるダイバーだったということです。各自のサンゴ礁への思いをそれぞれの形で、それぞれの企業の論理に落とし込み、サンゴ礁保全に結びつけようと苦勞されていらっしゃると思いました。ここに、サンゴ礁保全、サンゴ礁研究の認知を拡大・普及するヒントがあると思っています。

今後は沖縄の関係者にヒアリングを進め、これらのヒアリングでの知見、仮説を元に、アンケート調査を行う予定です。

News & Information

鈴木 敦教授(AO2班代表・静岡大) が中国科学院の客員教授に

AO2班代表の鈴木 敦教授が、中国科学院の客員教授に招聘されました。



月刊ダイバー 「サンゴ礁学若手の会」 連載終了特別企画

2011年8月号から全16回連載を続けてきた月刊ダイバーコラム「サンゴ礁を学問する」が2012年11月号で最終回となりました。

連載終了を記念して、これまでの連載をまとめた冊子を作成しました。ご希望の方に郵送でお送りしますので、事務局Eメールアドレスまでご住所をお知らせください(先着順・受付2/5まで)。

今後の予定

●2012年11月25日
サンゴ礁学シンポジウム
@東大開催

●2013年3月
石垣島などで最終成果報告会
開催予定
詳細は決定次第ホームページでご案内。

事務局から

残り数か月で「サンゴ礁学」は終了となります。この5年間、がむしゃらに進んできました。先の見えないことに挑戦することの面白さと辛さを知りました。領域の設立会合で、シニアが「若手には異分野に刺激を受け、新しい種を見つけて欲しい。」というようなことを言いました。若手の交流は確かに盛んで、議論し、励まし合い、時に喧嘩して、大いに刺激を受けました。いま成果のまとめの時期となり、HPの発表論文ハイライトのページで成果論文を紹介したり、シンポジウムや地域への最終成果報告会の企画を着々と進めています。残り数か月走り抜きます！

事務局 浪崎直子



写真：サマースクールに参加・運営協力した若手(C)中辻裕



サンゴ礁学 NewsLetter【Vol.6】 ●発行日：2012年12月26日

●編集発行：サンゴ礁学事務局

Tel: 029-850-2933 E-mail: admin@coralreefscience.jp

住所：〒305-8506 茨城県つくば市小野川116-2

独立行政法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 浪崎直子 気付

●サンゴ礁学ウェブサイト <http://www.coralreefscience.jp>