

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－南アフリカ研究交流）

1. 研究課題名：「日本・南ア両国による比較研究に基づくインド-太平洋海域の藻類の多様性と進化の解明」
2. 研究期間：平成23年4月～平成26年3月
3. 支援額： 総額 15,000,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	堀口 健雄	北海道大学大学院理学研究院	教授
研究者	須田 彰一郎	琉球大学理学部	教授
研究者	小亀 一弘	北海道大学大学院理学研究院	准教授
研究者	上井 進也	新潟大学自然科学系	准教授
研究者	山田 規子	北海道大学大学院理学院	博士課程学生
研究者	大沼 亮	北海道大学大学院理学院	博士課程学生
参加研究者 のべ 7 名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	John J. Bolton	University of Cape Town	教授
研究者	Stuart D. Sym	University of the Witwatersrand	准教授
研究者	Robert J. Anderson	Seaweed Unit of Marine and Coastal Management	ユニット長
研究者	Lydiane Mattio	University of Cape Town	ポスドク
研究者	Caitlynne Francis	University of Cape Town	博士課程学生
研究者	Mark Rothman	University of Cape Town	博士課程学生
参加研究者 のべ 6 名			

5. 研究・交流の目的

「藻類」は水生の植物（コケ・シダ・種子植物を除く）で、海藻類（大型藻類）や植物プランクトン（微細藻類）などを含む。近年藻類は、基礎生物学の研究材料としてだけでなく、食料と競合しないバイオエネルギーの資源としてや、珊瑚礁の白化現象、赤潮、魚介類の毒化、移入種問題など地球温暖化や人間活動、環境問題に直接関わる存在としても着目されている。本プロジェクトは日本、南アフリカ両国の藻類学者が共同し、純粋な生物学的な問題の解決に加え、ここに述べたいくつかの問題に解答を与えるべく研究を実施することを目的とした。

日本と南アフリカ沿岸は世界的に見ても最も海藻類の多様性が高い地域であり、これはそれぞれ年間の海水温の幅が国土の海岸線に沿って大きいことに起因している。また両国はいわゆる生物地理学上の区分であるインド-太平洋海域をはさんで位置することから、その両端に位置する国でどのような藻類が分布し、系統的な類縁関係がどの程度認められるのかは生物地理学的な観点からも興味深い問題である。また南アフリカにおいては、比較的研究が進んでいる海藻類に比べ微細藻類は一般に種多様性の理解が遅れているのが現状である。特に底生性渦鞭毛藻類の南アでの研究は遅れておりこの仲間の多様性理解を格

段に進める必要があった。

以上のような背景から本プロジェクトでは、以下の課題を解決することを研究目的として実施した。(1)南アフリカインド洋岸の底生性渦鞭毛藻類の多様性と分布に関する研究、(2)南アフリカと琉球列島におけるナノプランクトンおよびピコプランクトン、特に *Nephroselmis* と *Pyramimonas* に重点をおいて、の多様性研究、(3)褐藻カヤモノリ科の分子系統地理学的研究、(4)移入海藻に関する研究、(5)DNA バーコーディングに関する研究とワークショップ開催、(6)インド太平洋を横断しての褐藻ホンダワラ類の進化的関係の解明。

また、本プロジェクトを通じて両国の藻類学コミュニティーのより緊密な連携を深め、多方面にわたる共同研究のためのプラットフォームを構築することを目指した。

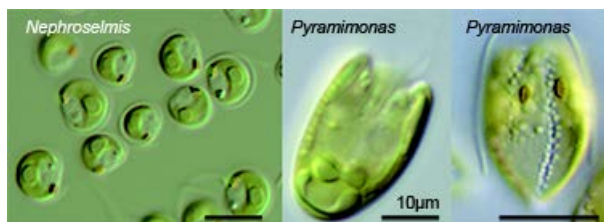
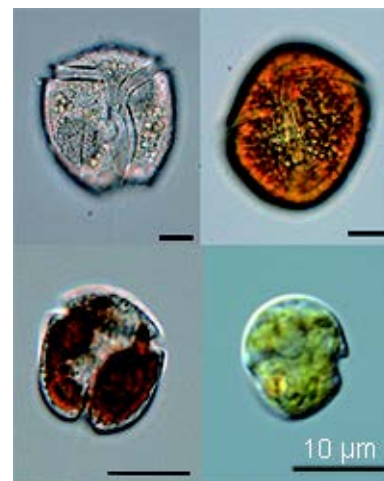
6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

本プロジェクトでは、「1. 研究・交流の目的」に示した6項目を主に研究目標と設定して研究を開始したが、当初は想定していなかったいくつもの新たな研究成果が得られた。以下に概要を報告する。

【微細藻類に関する成果】

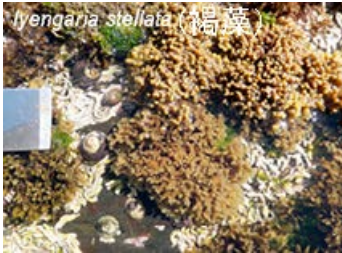
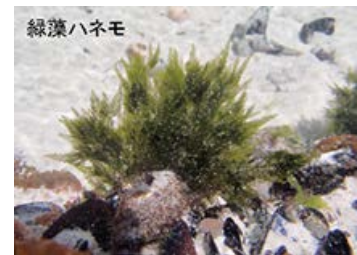
- 南アの底生性渦鞭毛藻の種多様性：今回の調査を通じて南アにおける底生性渦鞭毛藻類を26属54種確認し、同国の底生性渦鞭毛藻類の種多様性理解に大きく貢献した（例を右図に示す）。これらの中には *Ankistrodinium*, *Bysmatrum*, *Dinothrix*, *Durinskia*, *Gymnodinium*, *Symbiodinium* の各属に属する新種が含まれる。南アからは49株の底生性渦鞭毛藻類の株を確立した。なお日本との共通種は20種であった。この研究で用いた株のいくつかは南ア側研究者が分離したものである。相互に確立した培養株を融通し合うというシステムを確立したおかげでお互いにより幅広い分類群を研究対象とすることができた。また、底生性渦鞭毛藻類は有毒種である場合もあり、その点からも今回の研究成果は意義深い。
- 日本の底生性渦鞭毛藻の種多様性：本事業で調査した北海道・沖縄からも底生性渦鞭毛藻類の株（11属33種、40株）を得た。この中には、*Durinskia*, *Testudodinium*, *Amphidinium* などの属の新種が含まれることが明らかとなり、我が国の微細藻フロアの充実にもつながった。
- 新奇ラフィド藻の発見：渦鞭毛藻ではないが、海岸の砂表面を着色していた鞭毛藻がラフィド藻の新属新種であることを確認した。
- プラシノ藻類の種多様性研究：プラシノ藻類（右図）の場合も渦鞭毛藻と同様、培養株の共有を通じてより幅広い分類群を研究対象とすることができた。主な成果は次の通り。
 - 1) 南アと沖縄より分離した *Nephroselmis* の研究から両国には少なくとも *N. astigmatica*, *N. pyriformis*, *N. aff. rotund*, *N. viridisa* の4種が共通して生育していることが明らかとなった。
 - 2) 沖縄で採集した *Pyramimonas* 属の1種について南ア側研究者が研究をおこない新種であることをつきとめた。
 - 3) 2)に加えてさらに南ア、沖縄から確立した *Pyramimonas* の培養株には10種以上の未記載種（新種）が含まれることが判明し、現在記載に向けてデータを整備している段階である。本事業を通じて *Pyramimonas* 属の分類では世界をリードする両国研究者の共同研究が加速



され、近い将来には *Pyramimonas* 属全体の分類体系の再検討が実施される体制が整ったと言える。

【海藻類に関する研究成果】

- ・ 褐藻ホンダワラ属の系統分類学的研究：南ア、日本、オーストラリアで採集したホンダワラ属 *Bactorphycus* 亜属の分布に関して遺伝的類縁関係を調査した。本亜属は熱帯域をはさんで（熱帯には分布せず）南北両半球に分布する（antitropical distribution）という特徴を示す。分布の起源として、日本付近から熱帯地方が比較的低温だった氷河期に温帯オーストラリアに渡り、その後南アへの分布拡大が生じたとの仮説を提唱することができた。
- ・ 紅藻ソゾ属の系統分類学的研究：南アおよび日本の材料も解析に加えることができた。研究の結果、ソゾ属の新しい種が見つかり、南アからは少なくとも新たに5種が新種と断定された。
- ・ 緑藻ハネモ属の分子系統解析：南アおよび日本沿岸のハネモ属（右図）について分子系統解析と交配実験から種多様性の把握をおこなった。遺伝子マーカーを用いて高いブートストラップ値で支持される末端クレードを種として認識したところ両国沿岸に13種が認識された。分子で同種とされた個体間の形態変異は大きいものがあったが、交配実験から分子情報が示す通り同種と判断された。この結果はハネモ属の種は大きな種内形態変異をもつことを示しており、本属における種分類の大幅な見直しの必要性を示す画期的な成果となった。



- ・ 褐藻カヤモノリ科藻類の分子系統解析と生物地理学的考察：地理的に離れている南ア産と日本産のハバノリ、ボウガタムラドリを比較したところ両種の遺伝的差異は小さく、同種と判断できる範囲であった。また、本研究で初めて解析した DNA 情報に基づき *Iyengaria stellata* (左図) の属としての独立性が支持された。
- ・ 南ア産紅藻有節サンゴモ類の COI DNA バーコーディング：南ア産 64 サンプルについて、DNA バーコードに用いられる COI 領域を決定した。結果、19種の存在が確認され、石灰藻においても COI バーコーディングが有用であることが確認された。南アにおいて *Corallina officinalis* (原産地イギリス) と永らく同定されてきたものは実は別種であることを明らかにした。また *Arthrocardia* 属はバーコード解析から7種の存在が示され、そのうち6種（系統）には種名を与えたが1系統群は未同定とした。 *Arthrocardia* 属（右図）は南半球に分布し、南アはその中でも多様性が高く種分類が混乱していた。本研究結果は本属の分類学的研究において重要な成果である。
- ・ 褐藻アラメ属の分類と生物地理学的研究：南アの材料に日本、オーストラリアの材料を加えアラメ属各種の分子系統解析をおこなった。南アにはアラメ属は2種が存在すること、日本のアラメ属の種とは形態は類似するものの遺伝的に距離がある（ただし同一属には包含すべきである）ことが明らかになった。
- ・ DNA バーコーディングに関する成果：海藻類では



他の生物でも広く DNA バーコードに用いられるミトコンドリアコードの COI 領域を用いた南ア産紅藻有節サンゴモ類の研究、および葉緑体コードの *rbcL* の部分配列を用いた緑藻ハネモの研究からこれらの DNA 領域が種の識別をおこなうために有用であることが確かめられた。また渦鞭毛藻類では、珪藻を共生藻にもつ Dinotom 類および *Crypthecodinium* 種複合体において、核コードの ITS 領域が種識別に応用可能であることが明らかとなった。

【当該研究の今後の展開見込】

- ・ 本事業の共同研究によって、海藻類に関してはインドー太平洋の温帯域の日本と南アの遺伝的関係性に関して、紅藻ソゾ類、石灰紅藻有節サンゴモ類、緑藻ハネモ類、褐藻アラメ類、褐藻ホンダワラ類に関する情報を得ることが出来た。インドー太平洋海域を隔てた両国の海藻の生物地理学的研究は始まったばかりであるが、すでに共同研究は開始されており今後より多くの分類群を対象とする事により、明確な分布仮説が提唱できることが期待される。
- ・ 微細藻類に関して、南アの底生性渦鞭毛藻類の種多様性に関する理解が格段に進んだが、引き続き共同で調査を実施する予定である。またナノプランクトンに関しても数多くの培養株が両国で確立され、今後のさらなる共同研究への基盤が整備された。

【社会への波及】

- ・ しばしば日本近海起源の海藻が海外で移入種として問題視される事例が知られている。そこで本事業では、南アの港湾における移入種海藻の有無を重点的に調査した。結果的に日本側が参加した調査では移入種は発見できなかったが事業期間中に南ア側研究者が Saldanha Bay を調査したところ南アでは見かけない 2 種の紅藻ムカデノリ属を養殖いけすのロープ上に発見した（まわりの海岸には定着していない）。これらのバーコード遺伝子 (*rbcL*) を調べたところ世界的に知られた移入種である日本のツルツルであることが判明した。もう一方の種は日本のニクムカデに類似するが同一か否かは判断できなかった。定着はしていないものの、移入が起こっている可能性はあり今後の警戒が必要であることがこの事業の研究を通して明らかとなった。

6-2 人的交流の成果

- ・ 当事業における研究交流の特徴のひとつは、ポスドク（南ア側のみ）および大学院博士課程（日本および南ア）の若い研究者を参加させた事である。彼らはワークショップに参加し、英語での口頭発表をおこなった。英語での発表および質疑応答の経験もさることながら、国際的調査グループの一員として様々な役割を分担したこと、専門に関する意見を交換できたことは今後の研究活動に有益な体験となった。
- ・ これらの博士課程の大学院生（すべて微細藻グループ）はこのような貴重な体験を通して知り合った南ア側研究者とは現在もお互いの材料の提供やデータの共有など研究交流を続けており、今後、共著の論文がいくつか出ることが予定されている。
- ・ 今回、日本・南アを合わせて海外体験をした学生・ポスドクは合計 5 名であったが、そのうち 3 名が女性研究者であったことも評価すべきことであろう。
- ・ 上述のように本事業を通じて両国の若手の参加を促し、実際に交流も深めることができたことから、次の世代においても日本-南アフリカの間での交流は引き続きおこなわれるであろうことを期待したい。
- ・ 若手に加え、研究者レベルでも今回の交流を機会として、材料・方法の共有を通じてさらに共同研究を加速していくための環境が整えられた。
- ・ 本事業を通して、4 回のワークショップを開催したが、いずれの場合もメンバーだけでなく近隣の研究施設などから研究者、技術者を招待してより広い国際交流の展開を意識した。
- ・ 2012 年の北海道での調査と 2014 年のケープタウン近郊での研究交流のひとつの目玉は（調査ももちろんだが）、相手国の藻類学会に参加する事であった。相互の学会に参加することにより、より広い藻類コミュニティーのメンバーとの交流が実現した。この交

流を通じて事業メンバー以外からすでに共同研究の打診も日本側に寄せられている。

- 今回の調査では、幸い南アフリカ沿岸には日本近海からの海藻の移入種は見つからなかったが、研究の項で示したように必ずしも全く心配ないという状況でもない。従って、南アフリカ側としてもこの点のモニタリングは継続していくはずであるが、その際、移入種の起源である可能性が指摘される日本の海藻の研究も不可欠である。この点も今後両国研究者の連携が不可欠である。
- プラシノ藻類の *Pyramimonas* に関する分類学的研究は、世界的にもその分野をリードする両国研究者がこれらの材料をもとに、属全体の分類学的再検討を視野に今後の共同研究の継続を計画している。この成果は大いに期待されるものである。
- なお、本事業による南アフリカの調査を実際におこなったことで、日本側としても南アフリカにおける、微細藻のより良い採集方法や重点的に狙うべきハビタットなどが明確になってきた。本事業は終了となったが、引き続き日本、南ア両国の共同研究を進展させることを目的として、今後も様々な努力は続けていくつもりである。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Danang A. Prabowo, Ooshi Hiraiishi and Shoichiro Suda: "Diversity of <i>Crypthecodinium</i> spp. (Dinophyceae) from Okinawa Prefecture, Japan." <i>JMST</i> 21, suppl. pp. 181-191, (2013).	
論文	Shoichiro Suda, Mohammad A. H. Bhuiyan and Daphne G. Faria: "Genetic diversity of <i>Pyramimonas</i> from Ryukyu archipelago, Japan (Chlorophyceae, Pyramimonadales)." <i>JMST</i> 21 suppl. pp. 285-296. (2013).	
論文	Ryo Onuma and Takeo Horiguchi: "Morphological transition in kleptochloroplasts after ingestion in the dinoflagellates, <i>Amphidinium poecilochroum</i> and <i>Gymnodinium aeruginosum</i> (Dinophyceae)." <i>Protist</i> 164: 622-642. (2013).	
論文	Noricho Yamada, Ayumi Tanaka and Takeo Horiguchi: "cPPB-aE is discovered from photosynthetic benthic dinoflagellates." <i>J. Phycol.</i> 50: 101-107. (2014).	
論文	Dixon R.M., Mattio L., Huisman J. M., Payri C.E., Bolton J.J. Gurgel G.F. "North meets south-Taxonomic and biogeographic implications of a phylogenetic assessment of Sargassum subgenera <i>Arthrophyucus</i> and <i>Bactrophyucus</i> (Fucales, Phaeophyceae). <i>Phycologia</i> 53: 15-22. (2014)	