

論文審査の結果の要旨

氏名 氷上 愛

本論文は、序論である Chapter1, サンゴ礁石灰化生物を対象として精密飼育実験を行った3つの Chapter (Chapter 2-4), および全体のまとめである Summary で構成されている。

序論では、海洋酸性化における海洋の炭素循環システムおよび石灰化生物種ごとの応答差について述べられている。海洋酸性化は過剰な大気中二酸化炭素が海水に溶け込むことにより、海水中の溶存二酸化炭素・重炭酸イオン濃度が増加し、炭酸イオン・pH・炭酸カルシウムの飽和度を示す Ω が低下する。このような海水の環境変化が、炭酸カルシウムの骨格や殻を作る海洋石灰化生物に影響を及ぼし、さらには海洋生態系全体への影響が懸念されている。サンゴ礁域の石灰化を担う有孔虫や石灰藻については、重要な生態系基盤生物や一次生産者としての役割を担っているにも関わらず、研究が遅れている。本論文では、これらの有孔虫や石灰藻を対象として精密飼育実験を行い、過去の環境復元に応用可能なプロキシの検証、現在の環境把握および将来の環境予測を通じて、過去から将来にわたるサンゴ礁域の総合的な環境変化に関して議論した。

Chapter 2 では、サンゴ礁棲有孔虫 3 種を対象に、精密 CO₂ 制御装置を用いて飼育実験を行い、海洋酸性化がこれらの石灰化に与える影響を詳細に検討した。その結果、有孔虫種により石灰化応答の異なる 2 タイプが存在することを明らかにした。また、この違いは有孔虫の殻の構造や共生藻の違いによって生じる石灰化メカニズムの違いに起因すると予想されたことから、検証のため、炭酸イオン濃度を固定しながら重炭酸イオン濃度のみを pCO₂ 実験と同様の範囲で変化させた実験を行い、両タイプの石灰化に各炭酸種が与える影響の分離を試みた。この結果、一方は炭酸イオン濃度、すなわち Ω に、もう一方は CO₂ 分圧の影響を強く受けており、その違いは共生藻の種の違い（酸性化に対して減少傾向の渦鞭毛藻と酸性化に対して増加傾向のケイ藻）によって生じているのではないかと考察した。この酸性化における共生藻の役割を実証的に示したのは本研究が世界で初めてである。

Chapter 3 では、有孔虫殻の安定同位体比、特に代謝を反映するとされる炭素同位体比に着目して考察を行った。その結果、石灰化減少タイプは、炭素に関して同位体比平衡下での殻形成を示すため、石灰化部位に外部海水が十分に到達しうる石灰化様式を取っていることが示唆され、そのため将来の酸性化海水に対して敏感に反応して石灰化率が低

下すると考えられる。一方、石灰化増進タイプでは石灰化部位は外部海水と隔離されるため、酸性化進行時でも石灰化が影響も受けにくい一方、共生藻有機物由来の炭酸種の寄与が大きく、炭素同位体比が低下する。この結果より現在の石灰化生物の殻炭素同位体比から石灰化機構のタイプが識別でき、ひいては、将来の海洋酸性化時の生物応答（石灰化減少／増進）の見積もりができる可能性が示された。

Chapter 4 では、熱帯サンゴ礁海域において主要な造礁生物であるサンゴモのクローン個体の飼育を通じて、酸性化影響の評価を行った。その結果、飼育種2種ともが今世紀末予想 $p\text{CO}_2$ 値で成長率が半減することを示した。また細胞壁の骨格成分（Mg 濃度等）や密度の変化により、酸性化影響の種間差が生じ、海洋酸性化によるサンゴモ類の生育阻害の際には、現場の生育群集の分布構造の把握が必要であることを明らかにした。

全体のまとめでは、本論文で明らかになった、サンゴ礁石灰化生物である底棲有孔虫とサンゴモに関する海洋酸性化進行時の将来の環境予測、現在の環境把握、過去の環境復元プロキシの活用範囲、について述べられている。

本研究は、今後懸念されている海洋酸性化時に、サンゴ礁石灰化生物である底棲有孔虫とサンゴモが一体どのような応答を示すのかについて、その原因となる石灰化機構にまで世界で初めて踏み込み、今後直面せざるを得ない将来像を定量的に示したものである。その一方、現状の環境評価に加え、過去の環境復元に用いられる環境指標（プロキシ）の検証も行い、古水温プロキシとして多用される酸素同位体比の適応範囲を明確に示した。これらの研究成果は、将来の海洋環境予測において不可欠なものであり、地球上の詳細な炭素循環を考える上でも示唆を与える、極めて価値の高いものである。

なお、本論文の Chapter 2 は牛江裕行博士、入江貴博博士、藤田和彦博士、黒柳あずみ博士、酒井一彦博士、野尻幸宏博士、鈴木淳博士、川幡穂高博士、Chapter 4 は、加藤亜紀博士との共同研究であるが、論文提出者が共著者と共に実験に取り組み、実験の基盤となる飼育・分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、審査委員会は本論文を提出した氷上 愛氏に博士（環境学）の学位を授与できると認めた。

以上1999字