

## Trans-calcification メカニズムを組み込んだ造礁サンゴの光合成・石灰化の内部モデル

### A coral internal model on photosynthesis and calcification processes incorporating trans-calcification mechanism

中村 隆志<sup>1\*</sup>, 灘岡 和夫<sup>1</sup>, 渡邊 敦<sup>1</sup>

NAKAMURA, Takashi<sup>1\*</sup>, NADAOKA, Kazuo<sup>1</sup>, WATANABE, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東工大・院・情報理工

<sup>1</sup>Tokyo Tech.

サンゴ礁生態系は地球温暖化や人為的な栄養塩負荷など、常に様々な環境変化の中にさらされている。造礁サンゴがこのような変化に対してどのように応答するかを知ることは、将来の環境変化に対するサンゴ礁生態系の応答を予測する上で非常に重要である。特に、近年の大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇に伴う海洋酸性化によって海水のアラゴナイト飽和度が低下することでサンゴの石灰化への影響が懸念されている。しかし、サンゴ内部で行われている光合成や石灰化のプロセスは非常に複雑であり、それらの環境に対する応答を予測することは簡単ではない。これらの問題を解決するには、サンゴの生体内のプロセスを再現した光合成や石灰化の内部モデルを構築することが有効な手段となり得る。

サンゴの石灰化には trans-calcification メカニズム (McConnaughey, 1994) が働いていると考えられている。これは、カルシウム ATPアーゼ (Ca-ATPase) が腔腸から Ca<sup>2+</sup> を石灰化母液に能動輸送すると共に 2H<sup>+</sup> を石灰化母液から除去して石灰化を促進させるとするメカニズムである。本研究で構築した内部モデルでは、この trans-calcification モデルを基に、サンゴの周囲の海水、腔腸内、石灰化母液の全炭酸やアルカリ度の収支を、物質移動や光合成、呼吸、石灰化、Ca-ATPase による能動輸送などによるフラックスを計算することでモデル化を行っている。光合成速度は主に光と腔腸内の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度に依存する関数として表現され、腔腸内の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度は腔腸内の全炭酸とアルカリ度から平衡計算で求められる。呼吸速度は光合成生産物の注入速度と貯蔵されている有機物の濃度に依存する関数で表現した。また、石灰化速度は石灰化母液のアラゴナイト過飽和度に比例する形で表現した。なお、石灰化母液のアラゴナイト飽和度は、石灰化母液の全炭酸とアルカリ度から計算される。

この内部モデルのシミュレーションにより計算された光合成速度や石灰化速度は、実際に飼育実験で測定されたサンゴの光合成速度や石灰化速度を良く再現することが確認された。また、マイクロ pH 電極で計測された腔腸内や石灰化母液の pH の変動パターン (Al-Horani et al., 2003) も、このモデルで良く再現されることが確認された。このモデルで計算される石灰化速度のアラゴナイト飽和度に対する応答は、アラゴナイト飽和度に対して非線形で、ミカエリス・メンテン式に見られるような飽和関数に近い応答であった。これは、Langdon et al. (2005) らによって提示された線形の応答とは異なるが、Gattuso et al. (1999) や Marubini et al. (2008)、Anthony et al. (2011)、Inoue et al. (2011) らの飼育実験によって提示された関係性に非常に類似した結果となった。このモデルでは、石灰化速度は、直接的には石灰化母液のアラゴナイト飽和度に比例する形でモデル化を行っている。それにもかかわらず、サンゴの内部応答に trans-calcification メカニズムを組み込むことによって、飼育実験と類似した非線形の応答が得られた点は非常に興味深い。

この内部モデルは、サンゴの光合成や石灰化を良く再現していることから、この内部モデルに栄養塩などに関する内部動態モデルを組み込むことで、サンゴの成長や栄養塩負荷に対する応答などを記述できるモデルへのさらなる発展が期待される。さらには、その発展させた内部モデルを海洋の流動モデルや物質循環モデルと結合させることで、サンゴ礁域の生態系モデルとしての発展が期待される。また、この内部モデルは石灰化までの全炭酸のパスや反応速度、移動速度が細かく記載されているため、サンゴ骨格に記録される酸素・炭素安定同位体比の vital effect の理解やモデル化などへの応用も期待される。

キーワード: 造礁サンゴ, 内部モデル, 光合成, trans-calcification, 海洋酸性化

Keywords: hermatypic coral, coral internal model, photosynthesis, trans-calcification, ocean acidification