

## ヤツマタモク,ヨレモクの栄養塩吸収能力

誌名	京都府立海洋センター研究報告
ISSN	03865290
著者	西垣, 友和 八谷, 光介 道家, 章生 和田, 洋藏
巻/号	26号
掲載ページ	p. 21-29
発行年月	2004年3月

# ヤツマタモク, ヨレモク の栄養塩吸収能力

西 垣 友 和  
八 谷 光 介  
道 家 章 生  
和 田 洋 藏



2003年7月に網野, 養老, 舞鶴の3地点で採取したヤツマタモクとヨレモクを栄養塩添加した海水中で培養し, 栄養塩の減少量を測定し, それから栄養塩吸収速度を算出した。その結果,  $\text{NO}_3^-$  吸収速度の最大値は, ヤツマタモクでは  $3.08 \mu\text{mol/g f.w./h}$ , ヨレモクでは  $6.36 \mu\text{mol/g f.w./h}$  であり,  $\text{NO}_3^-$  濃度が  $80 \mu\text{M}$  以上の時はヨレモクがヤツマタモクより大きい吸収速度を示した。また,  $\text{PO}_4^{3-}$  吸収速度の最大値は, ヤツマタモクで  $0.125 \mu\text{mol/g f.w./h}$ , ヨレモクで  $0.178 \mu\text{mol/g f.w./h}$  であり, 海藻種間では大差なかったが, 採取地間では, ヤツマタモク, ヨレモクともに舞鶴産の藻体が網野, 養老産のものより高い値を示した。これらのことから, 栄養塩吸収速度は海藻種だけでなく, 採取地間でも異なることが明らかになった。

ホンダワラ類は, 温暖帯の岩礁域にガラモ場と呼ばれる藻場を形成する。ガラモ場は, 魚介類の産卵場や成育場としての生物生産機能(布施, 1962)とともに, 二酸化炭素の吸収や栄養塩の吸収などの環境保全機能を持っている(吉田ほか, 2001)。

近年, ホンダワラ類の栄養塩吸収能力が注目されているものの, ホンダワラ類の生理特性を栄養塩との関係で調べた研究は少ない。栄養塩を添加した海水中でのホンダワラ類の培養実験は, LAPOINTE (1986) が *Sargassum fluitans*, *S. natans* について, LAPOINTE (1989) が *Sargassum polyceratum*, *S. pteropleuron* について, SCHAFFELKE & KLUMPP (1998) が *Sargassum bacularia* について行っている。しかし, これらの研究ではホンダワラ類の生長や光合成速度に焦点が当てられ, 海水中の栄養塩吸収能力という観点からは研究されていない。これまでに, 栄養塩吸収能力について調べられたホンダワラ類は, ウミトラノオ *Sargassum thunbergii* (GAO & NAKAHARA, 1990) だけで, 日本近海で大規模な藻場を形成するホンダワラ類についての研究はみられない。

本研究では, 日本海中部におけるガラモ場の主要構成種であるヤツマタモク *Sargassum patens* とヨレモク *Sargassum siliquastrum* の藻体の一部を, 硝酸態窒素およびリン酸態リンを添加した海水中で培養し, 培養液中の栄養塩濃度の経時変化から, 両種の栄養塩吸収能力を推定した。また, 京都府沿岸の3地点から両種の海藻を採取し, 生息場所による栄養塩吸収速度の違いを検討した。

## 材料および方法

海藻の採取場所は, 丹後半島の北部に位置し外海に面し

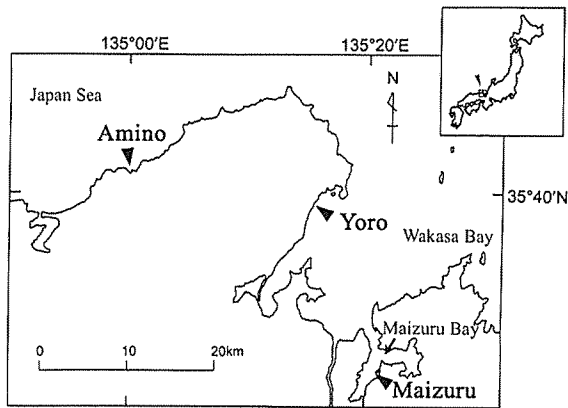


Fig. 1. Map showing three sampling sites, Amino, Yoro, and Maizuru.

た京都府網野町ツングメ、若狭湾西部海域の宮津市養老、若狭湾の支湾である舞鶴湾の乙礁である (Fig. 1)。2003年7月3日にそれら3地点からヤツマタモクとヨレモクを採取し、実験室に持ち帰った。両種について、生長点を含む主枝の先端部を0.5~1.0g (湿重) 切り取り、ピンセットを用いて藻体に付着している他の藻類を取り除いた。切り取った主枝の先端部は、海水をかけ流した屋外水槽中で実験開始まで3日間育成した。

ラスファイバーフィルター (Whatman GF/F) でろ過した海水に、硝酸塩 ( $\text{KNO}_3$ ) とリン酸塩 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) をそれぞれ 100, 10  $\mu\text{M}$  相当分添加して培養液を作成した。透明のガラス瓶 (5 l) に培養液を 3 l 入れ、そこに藻体を約 3 g または 9 g ずつ入れた (Table 1)。実験区数は2種類 (ヤツマタモク, ヨレモク)  $\times$  3採取地 (網野, 養老, 舞鶴)  $\times$  2藻体重量 (約 3, 9 g) の12実験区である (以下, 各実験区を採取地, 種名, 投入重量と並記して示す。例えば, 「網野で採取したヤツマタモクを約 3 g 加えた実験区」を「網野ヤツマタモク 3 g 区」とする)。加えて, ガラス瓶に培養液だけを入れた対照区を1区設けた。実験期間中, 藻体を入れたガラス瓶を屋外に設置した

保温水槽に並べて自然光下で培養した。水槽に海水を連続注水することでガラス瓶内の培養液の水温をできるだけ一定に保った。また, 培養液を攪拌するために各ガラス瓶内に通気を行った。

実験期間は2003年7月6日13時から7月9日11時までの70時間である。この期間中, 毎日7, 11, 15, 19時に各実験区から培養液を16 ml ずつ採水し, 採水後直ちに凍結保存し, 後日栄養塩濃度の測定に供した。硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3^-$ ) 濃度は, オートアナライザー (Technicon 社, AutoAnalyzer II) を用いて測定した。また, リン酸態リン ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 濃度は, MURPHY & RILEY (1962) に従い, 分光光度計 (Shimadzu 社, UV-120-02) を用いて測定した。実験期間をとおして, 保温水槽に注水した海水の水温を1時間ごとに測定するとともに, 採水時には対照区内の水温を測定し, 実験区の培養液の水温とした。また, 実験期間をとおして, 光量子量 (PAR: Photosynthetically Active Radiation) を測定した。光量子量は, 光量子センサー (LI-COR 社, LI-192SA) をデータ・ロガー (LI-COR 社, LI-1000) に接続して測定し, 10分間の積算値として示した。光量子センサーは水槽と同じ高さの空中に設置した。各実験区における実験開始時と終了時における藻体の湿重量を Table 1 に示した。

次に, 培養液中の栄養塩濃度の経時変化から, 明期または暗期における藻体の単位湿重量あたりの栄養塩吸収速度を求めた。今回の実験では7時から19時を明期とし, 19時から翌朝7時を暗期とした。各期間の藻体重量は, 藻体の湿重量が実験期間中には直線的に増加したと仮定して, 実験開始時と終了時の値を時間で比例配分して求めた。

## 結果

水温および光量子量 保温水槽に注水した海水の水温は21.5~22.1°Cであり, 採水時に測定した培養液の水温は21.7~22.9°Cの範囲であり, 実験期間中に大きな変化はみられなかった (Fig. 2)。また, 各日の10分間の最高光量

Table 1. Fresh weight (g) of *Sargassum patens* and *S. siliquastrum* collected from Amino, Yoro, and Maizuru, before and after the incubation

		Amino		Yoro		Maizuru	
		Before	After	Before	After	Before	After
<i>Sargassum patens</i>	3 g	2.96	3.39	3.14	4.01	3.08	3.53
	9 g	9.34	10.41	9.21	10.59	9.54	10.95
<i>Sargassum siliquastrum</i>	3 g	2.97	3.33	3.15	3.57	3.29	4.08
	9 g	9.34	10.28	9.5	10.97	9.48	10.64

子数は  $0.398 \sim 1.298 \text{ mol/m}^2/10 \text{ min}$  となり、終日光量子を測定した日（7月7日および7月8日）の積算光子数

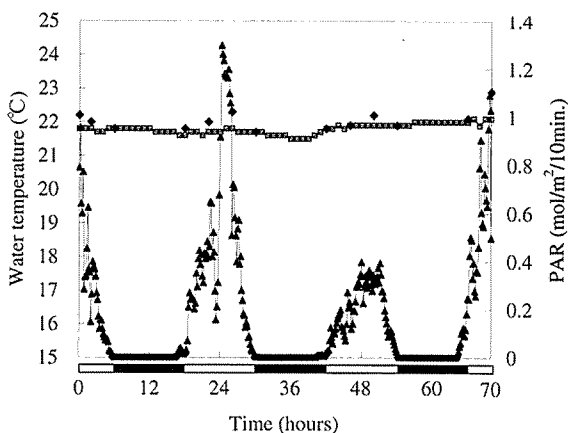


Fig. 2. Water temperature in glass jar (◆) and water bath (□), and photosynthetically active radiation (PAR) around experimental system (▲). White and black bars indicate daytime and night time.

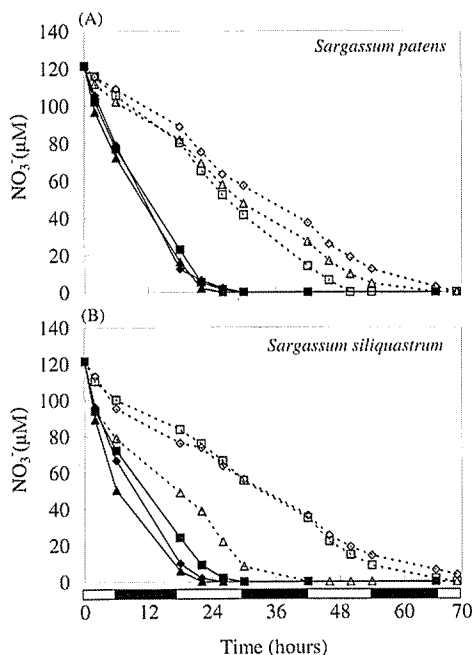


Fig. 3.  $\text{NO}_3^-$  concentrations in the enriched seawater during incubation of *Sargassum patens* (A) or *S. siliquastrum* (B), respectively collected from Amino (◇, ◆), Yoro (□, ■) and Maizuru (△, ▲). Open and closed symbols respectively indicate  $\text{NO}_3^-$  concentration in the 3 g and 9 g-added experiments. White and black bars indicate day and night time.

はそれぞれ  $32.88$  および  $14.78 \text{ mol/m}^2$  であった (Fig. 2)。

**$\text{NO}_3^-$  濃度の経時変化** 実験開始時の培養液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度は  $121.4 \mu\text{M}$  であった。実験終了時の対照区における  $\text{NO}_3^-$  濃度は  $119.3 \mu\text{M}$  であったが、海藻を入れた実験区では、網野ヨレモク 3 g 区を除くすべての実験区で検出限界以下（検出限界は  $1.4 \mu\text{M}$ ）に低下していた (Fig. 3A, B)。ヤツタタモク 3 g 区での  $\text{NO}_3^-$  濃度の経時変化には藻体の採取地間での大きな違いは見られず、養老、舞鶴、網野実験区でそれぞれ 50, 66, 70 時間後に検出限界以下にまで低下した (Fig. 3A)。ヤツタタモク 9 g 区の  $\text{NO}_3^-$  濃度は 3 g 区に比べて、より短時間で低下し、実験開始から 6 時間で  $80 \mu\text{M}$  以下に低下した (Fig. 3A)。培養開始から 18 時間後に  $\text{NO}_3^-$  濃度が  $12.6 \mu\text{M}$  まで低下した網野 9 g 実験区では、その後  $\text{NO}_3^-$  濃度の低下は緩やかになった。すべてのヤツタタモク 9 g 区で 30 時間後までに  $\text{NO}_3^-$  濃度は検出限界以下となった。

網野ヨレモク 3 g 区と養老ヨレモク 3 g 区の  $\text{NO}_3^-$  濃度は同じように低下し、養老ヨレモク 3 g 区では 70 時間後に検出限界以下にまで低下した (Fig. 3B)。一方、舞鶴ヨ

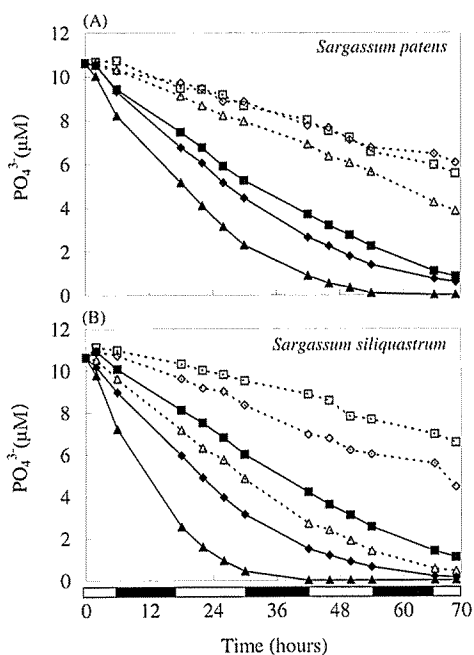


Fig. 4.  $\text{PO}_4^{3-}$  concentrations in the enriched seawater during incubation of *Sargassum patens* (A) or *S. siliquastrum* (B), respectively collected from Amino (◇, ◆), Yoro (□, ■) and Maizuru (△, ▲). Open and closed symbols respectively indicate  $\text{NO}_3^-$  concentration in 3 g and 9 g-added experiments. White and black bars indicate day and night time.

レモク 3g 区では、網野、養老実験区よりも急激な  $\text{NO}_3^-$  濃度の低下がみられ、実験開始から 6 時間で  $\text{NO}_3^-$  濃度は  $79.0 \mu\text{M}$  まで低下し、42 時間後には検出限界以下になった。すべてのヨレモク 9g 区の  $\text{NO}_3^-$  濃度は開始直後から急激に低下した。最も急激に  $\text{NO}_3^-$  濃度が低下した舞鶴実験区では実験開始から 6 時間で初期濃度の半分以下である  $50.3 \mu\text{M}$  まで低下した。すべてのヨレモク 9g 区において、30 時間後までに  $\text{NO}_3^-$  濃度は検出限界以下となった。

**$\text{PO}_4^{3-}$  濃度の経時変化** 実験開始時の培養液中の  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は  $10.6 \mu\text{M}$  であった。また対照区における実験終了時の  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は  $10.4 \mu\text{M}$  であった。

すべてのヤツマタモク 3g 区において実験開始 2 時間後までは、 $\text{PO}_4^{3-}$  濃度に大きな変化は見られなかった。その後、網野および舞鶴実験区では  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は低下し始め、実験終了時まで低下し続けた。養老ヤツマタモク 3g 区では 6 時間後には開始時から僅かに増加し、 $10.7 \mu\text{M}$  になったが、その後は実験終了時まで低下し続けた (Fig. 4A)。しかし、すべての実験区で  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が検出限界

以下 (検出限界は  $0.1 \mu\text{M}$ ) まで低下することはなかった。舞鶴ヤツマタモク 9g 区では開始直後から急激に  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が低下し、54 時間後に検出限界以下となった (Fig. 4A)。一方、網野および養老の 2 実験区では、3g 区と同様に実験開始 2 時間後まで  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度に大きな変化は見られなかった。その後  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は低下したが、実験終了時までには検出限界以下まで低下することはなかった。

ヨレモク 3g 区における  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は、実験開始から 2 時間後には網野および養老実験区では増加した (Fig. 4B)。その後はすべての実験区で低下し、舞鶴、網野、養老実験区の順に早く低下した。最も早く濃度が低下した舞鶴実験区では、 $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は 42 時間後に  $2.7 \mu\text{M}$  まで低下したが、その後低下は緩やかになり、すべての実験区で実験終了時までには検出限界以下になることはなかった。ヨレモク 9g 区では、実験開始から 2 時間後には養老実験区で  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が増加したが、その後は 3g 区と同様に、舞鶴、網野、養老実験区の順に  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は急激に低下した (Fig. 4B)。特に、舞鶴ヨレモク 9g 区では、 $\text{PO}_4^{3-}$

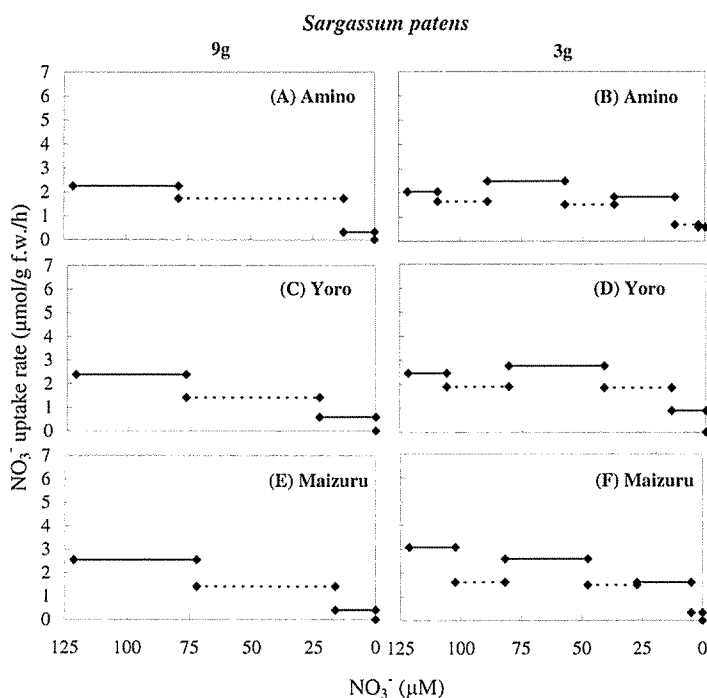


Fig. 5.  $\text{NO}_3^-$  uptake rates ( $\mu\text{mol/g f.w./h}$ ) of *Sargassum patens* collected from Amino, Yoro, and Maizuru during the incubation in enriched seawater. Solid and broken lines indicate changes in  $\text{NO}_3^-$  concentration during the daytime and night time, respectively. The left and right column indicate, respectively, the 9 g and 3 g-added experiments.

濃度は開始直後から急激に低下し、18時間後に  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度は  $2.5 \mu\text{M}$  になったが、その後は緩やかに低下し、42時間後に検出限界以下となった。一方、網野および養老実験区では、実験終了時まで  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が検出限界以下になることはなかった。

**$\text{NO}_3^-$  吸収速度** 各実験区における培養液中の栄養塩濃度と  $\text{NO}_3^-$  吸収速度の関係を明期と暗期を区別して Fig. 5, 6 に示した。網野ヤツタモク 9g 区では、吸収速度の最大値は最初の明期に  $2.24 \mu\text{mol/g f.w./h}$  となり、その後は濃度の低下とともに吸収速度も低下した (Fig. 5A)。網野ヤツタモク 3g 区では、最初から3回目 (Fig. 5B の実線の左から3本目) までの明期の吸収速度は  $1.83 \sim 2.49 \mu\text{mol/g f.w./h}$  であり (Fig. 5B)、高い値を維持した。最初と2回目の暗期の吸収速度はそれぞれ  $1.65, 1.52 \mu\text{mol/g f.w./h}$  であり、最初から3回目までの明期の吸収速度より低い値を示した。3回目の暗期以降、吸収速度は  $1 \mu\text{mol/g f.w./h}$  以下になった。養老ヤツタモク 9g 区では、網野実験区と同様に、最初の明期に最大値 ( $2.39 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) を示し、その後吸収速度は低下した (Fig.

5C)。養老ヤツタモク 3g 区では、2回目の明期に吸収速度は最大値 ( $2.77 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) を示し、その後は濃度の低下とともに吸収速度は低下した (Fig. 5D)。舞鶴ヤツタモク 9g 区では、網野、養老実験区と同様に、最初の明期に最大値 ( $2.55 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) を示し、その後吸収速度は低下した (Fig. 5E)。舞鶴ヤツタモク 3g 区では、最初の明期に  $3.08 \mu\text{mol/g f.w./h}$  の最大値を示し (Fig. 5F)、すべての実験区中で最高値であった。3回目の明期までは、吸収速度は  $1.5 \mu\text{mol/g f.w./h}$  以上の値を示していたが、その後3回目の暗期には  $0.32 \mu\text{mol/g f.w./h}$  まで低下した。

ヨレモク 9g 区の3実験区では、すべて最初の明期に吸収速度の最大値を示し、その後は濃度の低下とともに吸収速度は低下した (Fig. 6A, C, E)。吸収速度の最大値は舞鶴実験区が最も高い値 ( $3.71 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) を示したが、網野、養老実験区では、それぞれ  $2.91, 2.57 \mu\text{mol/g f.w./h}$  となり大差なかった。網野ヨレモク 3g 区では最初の明期に  $4.33 \mu\text{mol/g f.w./h}$  の最大値を示したが、その後大きく低下した (Fig. 6B)。最初の暗期から3回目の明期

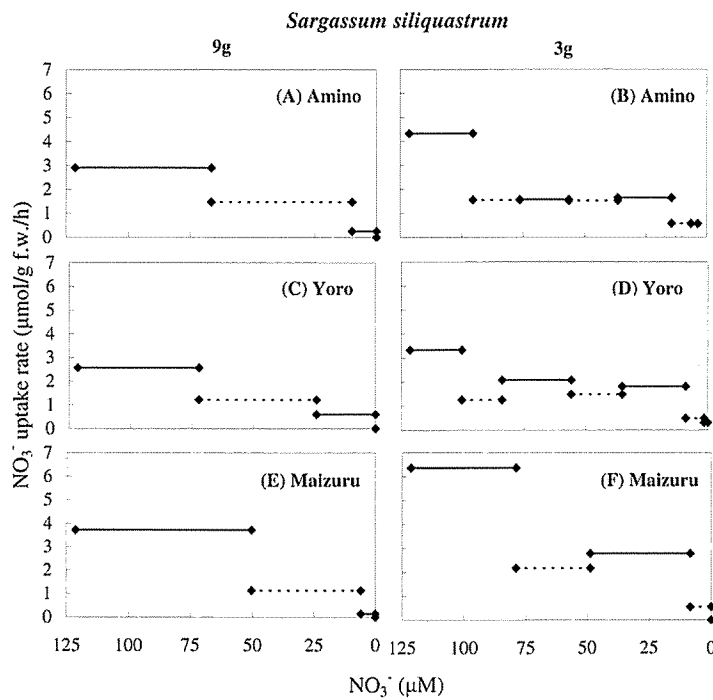


Fig. 6.  $\text{NO}_3^-$  uptake rates ( $\mu\text{mol/g f.w./h}$ ) of *Sargassum siliquastrum* collected from Amino, Yoro and Maizuru during incubation in enriched seawater. Solid and broken lines respectively indicate changes in  $\text{NO}_3^-$  concentration during the daytime and night time. The left and right column indicate, respectively, the 9 g and 3 g-added experiments.

までは 1.53~1.64  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  とほぼ一定の値を維持したが、その後は 0.57  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  まで低下した。養老ヨレモク 3g 区では最初の明期に吸収速度の最大値 (3.34  $\mu\text{mol/g f.w./h}$ ) を示したが、その後は 1.26~2.09  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  で推移した (Fig. 6D)。3 回目の暗期以降は 0.5  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  以下まで急激に低下した。舞鶴ヨレモク 3g 区における最初の明期の吸収速度は 6.36  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  となり、ヨレモク実験区の中で最も高い値を示した (Fig. 6F)。その後吸収速度は大きく低下し、最初の暗期、2 回目の明期にはそれぞれ 2.17, 2.78  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  となった。2 回目の暗期には吸収速度は 0.55  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  まで低下した。

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 吸収速度** NO<sub>3</sub><sup>-</sup> と同様に、各実験区における培養液中の栄養塩濃度と PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 吸収速度の関係を明期と暗期を区別して Fig. 7, 8 に示した。すべてのヤツタモク 9g 区では、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の場合と同様に、最初の明期に吸収速度の最大値が見られ、その後は PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 濃度の減少とともに吸収速度の低下がみられた (Fig. 7A, C, E)。各実験区における最大吸収速度について、舞鶴実験区で 0.125

$\mu\text{mol/g f.w./h}$  と最も大きな値を示したが、網野と養老実験区ではそれぞれ 0.069, 0.065  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  となり、大差なかった。網野ヤツタモク 3g 区では、3 回目の暗期に 0.021  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  となった以外は、0.045~0.084  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  で推移し、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> でみられたように明期で吸収速度が上昇することはなかった (Fig. 7B)。吸収速度の最大値は 2 回目の暗期に記録したが、その後 4 回目の明期にもそれに匹敵する値を示し、濃度の低下による吸収速度の低下は認められなかった。養老ヤツタモク 3g 区では、最初の明期には PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 濃度が増加したために、吸収速度は負の値になった (Fig. 7D)。その後は、実験終了時まで 0.037~0.094  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  で推移したが、網野実験区と同様に、濃度との関係や明期、暗期の違いは認められなかった。舞鶴ヤツタモク 3g 区では、最初の明期の吸収速度は 0.048  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  となり (Fig. 7F)、網野実験区よりも低い吸収速度を示した。その後は、0.077~0.096  $\mu\text{mol/g f.w./h}$  で安定し、実験終了時まで高い吸収速度を維持した。

網野ヨレモク 9g 区では、2 回目の明期までの吸収速度

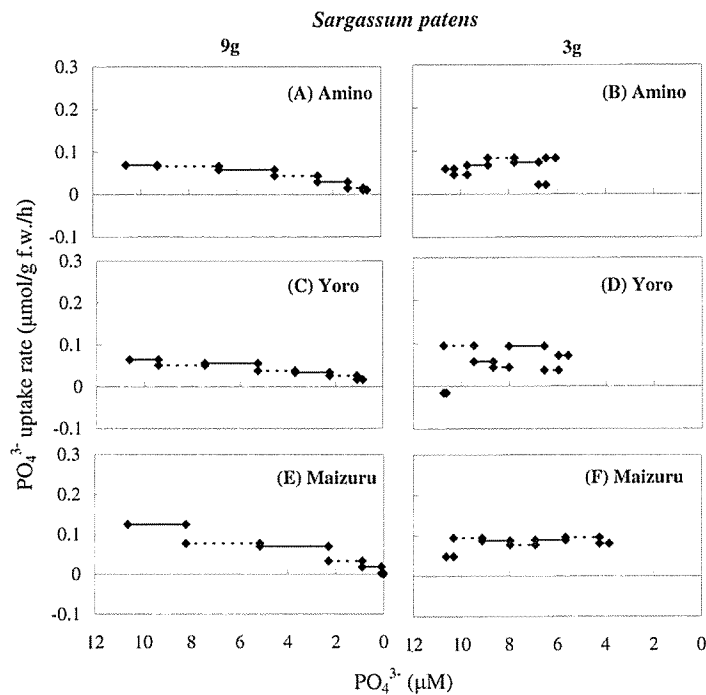


Fig. 7. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> uptake rates ( $\mu\text{mol/g f.w./h}$ ) of *Sargassum patens* collected from Amino, Yoro and Maizuru during the incubation in enriched seawater. The solid and broken lines indicate changes in PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> concentration during the daytime and night time, respectively. The left and right columns, respectively, indicate the 9g and 3g-added experiments.

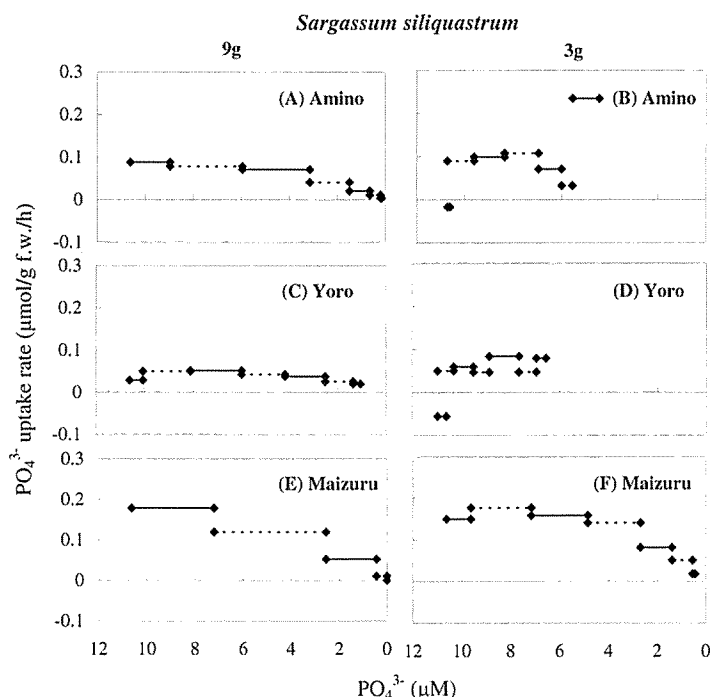


Fig. 8.  $\text{PO}_4^{3-}$  uptake rates ( $\mu\text{mol/g f.w./h}$ ) of *Sargassum siliquastrum* collected from Amino, Yoro and Maizuru during the incubation in enriched seawater. The solid and broken lines indicate changes in  $\text{PO}_4^{3-}$  concentration during the daytime and night time, respectively. The left and right columns, respectively, indicate the 9 g and 3 g-added experiments.

は  $0.071\sim 0.088 \mu\text{mol/g f.w./h}$  と大きな変動を示さなかったが、その後は  $0.043 \mu\text{mol/g f.w./h}$  まで大きく低下し、濃度の低下とともに吸収速度も低下した (Fig. 8A)。網野ヨレモク 3 g 区では、最初の明期に  $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が増加したために吸収速度は負の値を示した (Fig. 8B)。その後、最初の暗期には  $0.090 \mu\text{mol/g f.w./h}$  まで上昇し、その後徐々に上昇を続け、2 回目の暗期には  $0.108 \mu\text{mol/g f.w./h}$  になった。その後急激に吸収速度が低下し、3 回目の暗期には  $0.033 \mu\text{mol/g f.w./h}$  になったが、4 回目の明期には  $0.235 \mu\text{mol/g f.w./h}$  まで急激に上昇し、実験期間をとおして最大の値を示した。養老ヨレモク 9 g 区では、2 回目の明期までは徐々に上昇し、 $0.052 \mu\text{mol/g f.w./h}$  の最高値を示したが、その後は濃度の減少とともに吸収速度は低下した (Fig. 8C)。養老ヨレモク 3 g 区では、網野ヨレモク 3 g 区同様に最初の明期には吸収速度は負の値を示したが、その後は  $0.047\sim 0.084 \mu\text{mol/g f.w./h}$  で推移し、濃度との関係や、明暗期の違いは認められなかった (Fig. 8D)。舞鶴ヨレモク 9 g 区での吸収速度の最大値は  $0.178 \mu\text{mol/g f.w./h}$  となり、網野および養老 9 g 区における最

大値のそれぞれ  $2.0$  および  $3.4$  倍高い値であった (Fig. 8E)。舞鶴ヨレモク 3 g 区では、吸収速度の最大値は最初の暗期に  $0.177 \mu\text{mol/g f.w./h}$  となり、舞鶴ヨレモク 9 g 区の最大値と大差なかった (Fig. 8F)。吸収速度は 2 回目の暗期までは  $0.14 \mu\text{mol/g f.w./h}$  以上の高い値を維持したが、その後濃度の減少とともに急激に低下した。

## 考察

今回の実験では、栄養塩を添加した培養液中で藻体を培養し始めた直後から  $\text{NO}_3^-$  の減少がみられた (Fig. 3)。これにより、低栄養塩濃度の日本海沿岸に生育するヤツマタモクやヨレモクであっても、高栄養塩濃度の海水に曝された場合に栄養塩を急激に吸収する能力を備えていることが明らかになった。しかし、 $\text{PO}_4^{3-}$  については網野、養老実験区では実験開始から 2 時間までは濃度の大きな変化が見られなかった (Fig. 4)。今回の実験では、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{PO}_4^{3-}$  を同時に加えた実験区を設定したために、実験開始直後には高濃度の  $\text{NO}_3^-$  により  $\text{PO}_4^{3-}$  吸収が阻害さ



れた可能性が考えられた。

今回測定した  $\text{NO}_3^-$  吸収速度の最大値は、ヤツマタモクでは  $3.08 \mu\text{mol/g f.w./h}$ 、ヨレモクでは  $6.36 \mu\text{mol/g f.w./h}$  であり、両種とも舞鶴 3g 区の最初の明期に最大値を示した。ヤツマタモクでは、3g 実験区の 2 回目の明期のように、培養液中の濃度が  $80 \mu\text{M}$  程度になっても吸収速度は最大値に近い値を示した (Fig. 5B, D, F)。このことから、ヤツマタモク実験区では、 $\text{NO}_3^-$  濃度が  $80 \mu\text{M}$  以上の範囲では、吸収速度は最大に達していたと考えられ、ヤツマタモクの最大  $\text{NO}_3^-$  吸収速度は  $3 \mu\text{mol/g f.w./h}$  程度であると推察された。一方、ヨレモクは前述のように培養開始直後の最初の明期に吸収速度の最大値を示し、その後 2 回目の明期には吸収速度が大きく低下した (Fig. 6)。このことから、今回の実験の初期濃度であった  $120 \mu\text{M}$  の  $\text{NO}_3^-$  濃度では、吸収速度は最大値に達しておらず、ヨレモクの最大  $\text{NO}_3^-$  吸収速度は  $6 \mu\text{mol/g f.w./h}$  を大きく越える可能性が考えられる。今回の結果から、 $\text{NO}_3^-$  濃度が  $80 \mu\text{M}$  以下の時には、両種間に吸収能力の大きな差はみられなかったが、 $\text{NO}_3^-$  濃度が  $80 \mu\text{M}$  より高濃度の場合にはヨレモクがヤツマタモクより高い吸収能力を備えていることが明らかになった。

$\text{PO}_4^{3-}$  の吸収では、ヤツマタモク、ヨレモク実験区ともに  $6 \mu\text{M}$  以上では、濃度変化に伴う吸収速度の変化が小さかった。 $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が  $6 \mu\text{M}$  以上の範囲では、 $\text{PO}_4^{3-}$  吸収速度は最大に近い値を示していたと考えられ、両種の最大  $\text{PO}_4^{3-}$  吸収速度はそれぞれ  $0.13$ ,  $0.18 \mu\text{mol/g f.w./h}$  程度であることが示された。網野ヨレモク 3g 区では、 $\text{PO}_4^{3-}$  濃度が  $6 \mu\text{M}$  以下まで低下した 4 回目の明期に非常に高い最大吸収速度を示したが、網野 9g 区を含む他の実験区ではそのような傾向は認められなかったため、今回の考察からは除外した。

GAO & NAKAHARA (1990) では、ウミトラノオを栄養塩環境の異なる 2 地点から採取して栄養塩添加海水中で培養を行ったが、加えた藻体の重量が記されておらず、採取地間の吸収速度は議論されていない。今回の  $\text{PO}_4^{3-}$  の結果では、海藻の種類間では吸収速度に大きな差は認められなかったが、採取地間で  $\text{PO}_4^{3-}$  吸収速度を比較した場合、両種とも舞鶴実験区で最も大きな吸収速度を示し、同種でも採取地間で吸収能力が異なることが明らかになった。また、 $\text{NO}_3^-$  の吸収速度についても、ヤツマタモクでは採取地間の違いは認められなかったが、ヨレモクでは、舞鶴で採取した藻体が網野、養老で採取したものより高い吸収速度を示した。

次に、明期と暗期の吸収速度について考察する。ヤツマタモク 3g 区およびヨレモク 3g 区では、 $\text{NO}_3^-$  吸収

速度が暗期の次の明期に上昇した (Fig. 5 & 6B, D, F)。 $\text{NO}_3^-$  が細胞膜を通過する過程では、光合成の明反応で生成された ATP を用いることが知られている (FALKOWSKI, 1978)。今回の実験でも明期では、エネルギーを必要としない吸収に加えて、光合成で生成された ATP を用いた  $\text{NO}_3^-$  の吸収が起こったために、吸収速度が上昇したと考えられる。一方、 $\text{PO}_4^{3-}$  吸収速度については暗期よりも次の明期で増加することはなかったため、 $\text{PO}_4^{3-}$  の取り込みでは、光合成を利用した能動輸送があまり行われていないのではないかと推察された。

本研究では、生長点を含む主枝の先端部を用いて実験を行った。この部位は藻体の部位の中でも最も細胞分裂が活発であり、栄養塩吸収能力が高いと考えられる。ホンダワラ類の藻体は、付着器や茎などの多年生部位と、主枝や葉、気胞、生殖器床などの一年生部位から構成されており、藻体の部位によって含有窒素量およびリン量が異なっている (吉田ら, 2001)。したがって、栄養塩吸収能力には藻体の部位による差がある可能性が考えられる。また、本研究では、海藻の種類や生育場所による栄養塩吸収能力の違いも示唆されたが、その違いをもたらした要因については考察できなかった。今後、これらのことが明らかになれば、海域ごとの藻場の環境浄化機能をより詳細に評価できると考えられる。

## 文 献

- FALKOWSKI, P.G. 1978. The regulation of nitrate assimilation in lower plants. "Nitrogen in the Environment" (eds. NIELSEN, D.R. and MACDONALD, J.G.), Vol. 2: 143-155, Academic Press, New York.
- GAO, K. and NAKAHARA H.. 1990. Effects of nutrients on the photosynthesis of *Sargassum thunbergii*. *Botanica Marina*, **33**: 375-383.
- 布施慎一郎. 1962. ガラモ場における動物群集. 生理生態, **11**(1): 23-46.
- LAPINTE, B.E.. 1986. Phosphorus-limited photosynthesis and growth of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* (Phacophyceae) in the western North Atlantic. *Deep-Sea Research*, **33**(3): 391-399.
- LAPINTE, B.E.. 1989. Macroalgal production and nutrient relations in oligotrophic areas of Florida bay. *Bull. Mar. Sci.*, **44**(1): 312-323.
- MURPHY, J. and RILEY, J.P.. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **27**: 31-36.

SCHAFFELKE, B. and KLUMPP, D.W.. 1998. Nutrient-limited growth of the coral reef macroalga *Sargassum baccularia* and experimental growth enhancement by nutrient addition in continuous flow culture. *Mar.*

*Ecol. Prog. Ser.*, **164**: 199-211.

吉田吾郎・内村真之・吉川浩二・寺脇利信. 2001. 広島湾に生育する海藻類の炭素・窒素含量とその季節変化. 瀬戸内水研報, **3**: 53-61.

### Synopsis

#### Nitrate and Phosphate Uptake Rates of *Sargassum patens* and *S. siliquastrum*

Tomokazu NISHIGAKI, Kousuke YATSUYA, Akio DOUKE and Yozo WADA

Samples of *Sargassum patens* and *S. siliquastrum* were collected from three sites (Amino, Yoro, and Maizuru) along the coast of Kyoto Prefecture in July 2003. The tips of seaweed were incubated in  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ -enriched seawater.  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  uptake rates during the day and night were calculated from the  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  concentrations in the medium.

The maximum  $\text{NO}_3^-$  uptake rate of *S. siliquastrum* ( $6.36 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) collected from Maizuru was higher than that of *S. patens* ( $3.08 \mu\text{mol/g f.w./h}$ ) collected from the same location. There were no differences between the  $\text{PO}_4^{3-}$  uptake rate of *S. patens* and *S. siliquastrum*. Maximum  $\text{PO}_4^{3-}$  uptake rate of *S. siliquastrum* specimens collected from Maizuru was higher than the same species taken from Amino or Yoro.

These results indicate that the nutrient uptake rate of seaweeds may vary not only between species, but between where they live.