

安室川（兵庫県上郡町）に生育する淡水産紅藻チスジノリ (*Thorea okadae* Yamada) の生活史と季節変化

佐藤裕司¹・杉野伸義²・永野正之²・米井 聡³・藤本卓矢⁴・東山真也⁵

¹ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所（〒669-1546 三田市弥生が丘6）

² 株式会社環境総合テクノス（〒541-0052 大阪市中央区安土町1-3-5）

³ 株式会社プレコス（〒540-0022 大阪市中央区糸屋町1-4-10）

⁴ 有限会社 a 環境研究所（〒540-0029 大阪市中央区本町橋2-23）

⁵ 上郡町立上郡中学校（〒678-1241 赤穂郡上郡町山野里1178-1）

Hiroshi Sato¹, Nobuyoshi Sugino², Masayuki Nagano², Satoshi Yonei³, Takuya Fujimoto⁴ and Masaya Higashiyama⁵: Life history stages and seasonality of a freshwater red alga *Thorea okadae* Yamada (Thoreaales, Rhodophyta) in the Yasumuro River, Kamigori, Hyogo Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 61: 1-5, March 10, 2013

The life history stages and seasonality of a freshwater red alga *Thorea okadae* Yamada were investigated in the Yasumuro River, Kamigori, Hyogo Prefecture. Analysis of the river discharge from 2005 to 2010 showed that *T. okadae* gametophytes were abundantly present during their development period (from September to June of the following year) in years in which the flood discharge exhibited its greatest daily mean value (ca. 60 m³s⁻¹) during the summer months (July and/or August). The gametophytes grew during their development period. Prior to the month of March, the distal portions of the gametophytes were frequently shortened, and many gametophytes disappeared. Spermatangial and gametangial formation on male and female plants, respectively, began in March. Fertilization occurred in March and April, and the carposporophytes formed on the female plants in May. Although carpospore production was not observed in periods II (2005) and VI (2009), the gametophytes were abundantly present in the subsequent development period; the presence of gametophytes did not depend on the abundance of the carpospore production. The *Chantransia* stages (sporophytes) were observed year-round, with a higher abundance found in September. Sporophytes developed monosporangia in water temperatures above 15 °C (from May to November), indicating asexual reproduction in the field population. Sporophyte conservation is essential for this vulnerable freshwater red algal species, as the population of *T. okadae* in the Yasumuro River is maintained by the asexual reproduction.

Key Index Words: carpospore, gametophyte, monospore, sporophyte, *Thorea okadae*, Yasumuro River

¹ Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo 669-1546, Japan

² The General Environmental Technos Co., Ltd., Aduchi-cho 1-3-5, Chuo-ku, Osaka, Osaka 541-0052, Japan

³ Plecos Co., Ltd., Itoya-machi 1-4-10, Chuo-ku, Osaka, Osaka 540-0022, Japan

⁴ “a” Institute of Environment, Honmachibashi 2-23, Chuo-ku, Osaka, Osaka 540-0029, Japan

⁵ Kamigori Junior High School, Yamanosato 1178-1, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo 678-1241, Japan

緒言

淡水産紅藻類の一種チスジノリ (*Thorea okadae* Yamada) は日本の温帯域の河川に生育が知られる固有種で (Yamada 1949), 鹿児島県の川内川をタイプ産地 (現, 伊佐市) とし, このタイプ産地と熊本県菊池川の生育地 (山鹿市) とが国の天然記念物に指定されている。本種は主に九州に分布し, 本州においても茨城県那珂川を北限に分布するが, 生育地は限られている (熊野ら 2007)。このため, 環境省レッドデータブックにおいて絶滅危惧 II 類 (VU) に分類されている (環境省編 2007)。

チスジノリは生活史は, 大型の配偶体と, 一般にシャントランシア期 (*Chantransia* stage) とよばれる小型の胞子体による異型世代が交代する (吉崎 1993)。肉眼視できる直立藻体は雌雄異株の配偶体であり, 秋から冬期に出現し, 大きく生長する。川内川では藻体の長さが 3 m に達した記録があ

る (岡田 1950)。本種の野外での生態については, Higa *et al.* (2007) が熊本県菊池川において配偶体の出現から生長, 成熟までの過程を調査し, その季節変化を明らかにしている。菊池川では, 配偶体は 9 月頃に出現し, 翌年の 4 ~ 5 月まで観察される。一方, 胞子体は周年観察され, 夏期に多くなる傾向がある。単胞子の形成は現場の個体群で観察されてはいないものの, 培養において 20 °C 以上で多く形成されることから, 暖かい季節には盛んに生産されと考えられている (Higa *et al.* 2007)。

兵庫県上郡町の千種川水系・安室川は, 本州におけるチスジノリの数少ない生育地の一つである。安室川では 1991 年にその生育が確認され, その後 1991 年から 1994 年まで多数出現したが, 1995 年以降は配偶体の出現が認められなくなっていた。ところが, 2004 年 1 月の調査で 9 年ぶりに配偶体の出現が確認され (佐藤ら 2006), 冬期における配偶体

の出現に夏期の洪水とその後の河川流量の安定性が関係することが指摘された。また、2004年11月に胞子体の生育が確認され、単胞子の形成も観察された(佐藤ら2006)。安室川では1995年から2003年までの間、配偶体出現が確認されない中で生育し続けてきたことから、胞子体による無性生殖のみで個体群が維持されてきた可能性がある。そこで本論文では、2004年1月から2010年12月までの調査をもとに、現場における配偶体による有性生殖と胞子体による無性生殖の状況を示し、安室川のチスジノリ保全にとって重要な要素を生活史の観点から考察する。

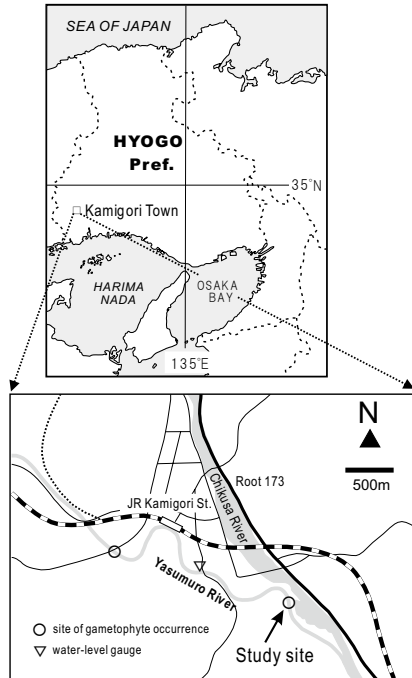


Fig. 1. Map of the study site in the Yasumuro River.

材料と方法

調査は安室川下流の生育区域(河川流路約200 mの範囲)を対象とした(Fig. 1)。なお、上流側にもう1ヶ所の生育区域があり、2006年より定性的な調査を行っているが、配偶体の出現傾向は今回の区域と同じである。この区域内で2004年3月から2007年3月までの毎月、2007年4月以降からは概ね2ヶ月に1回、配偶体の個体数を箱メガネおよび潜水により調査した。調査では、着生する基物の側に目印を設置し、個体識別しながら生長および生殖器官の形成状況を追跡した。付着基物が礫の場合はそのサイズを計測した。生殖器官の形成状況は、現場で藻体の一部を採取し、一兩日中に実験室で生物顕微鏡を用いて確認した。

胞子体の個体数変化については、2006年4月～2007年1月までは毎月、2007年5月～2008年1月までは概ね4ヶ月おきに調査した。2 m × 2 m のコドラート内より、長径10～20 cm の礫をランダムに10個選び、3 cm × 3 cm のコドラート内の礫表面に付着する胞子体の個体数を計数した。胞子体の密度はコドラート内1 m²あたりに付着する個体数で表した。また、2005年4月～2007年2月までは胞子体を採取し、実験室で単胞子の形成状況を顕微鏡観察により確認した。なお、安室川ではチスジノリと同じ淡水産紅藻類のカワモズク属も生育するが、生育場所が異なり、これらの胞子体が混在することはないと考えられる。

水温変化は自記記録式水温計 MDS-T (アレック電子株式会社製)を設置し、連続測定を実施した。本論文では欠測期間のない2005年の日平均水温データを採用した。河川の水位および流量は、上郡町竹万地区(竹万橋)に設置されたテレメーターで1991年より水位の自動観測が行われている。2005年1月から2010年12月までの日水位データから不等流計算結果にもとづく変換式を設定し、現状の断面に対して適合性の図れる日平均流量を算出した。

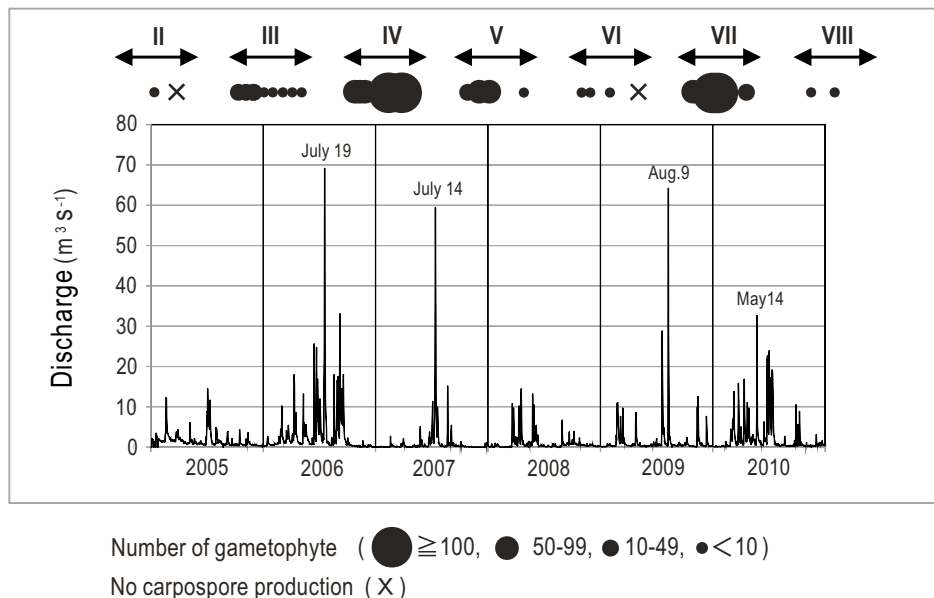


Fig. 2. Abundance of gametophytes during the development periods II–VIII, and fluctuations in the daily mean values of the discharge from the Yasumuro River.

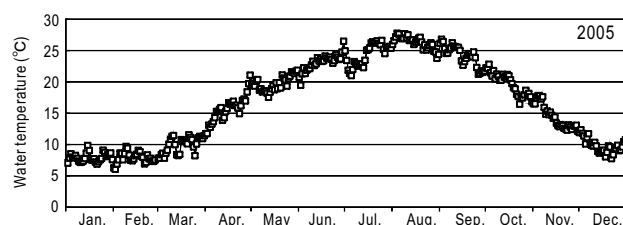


Fig. 3. Changes in the water temperature (daily mean value) in 2005 at the study site on the Yasumuro River.

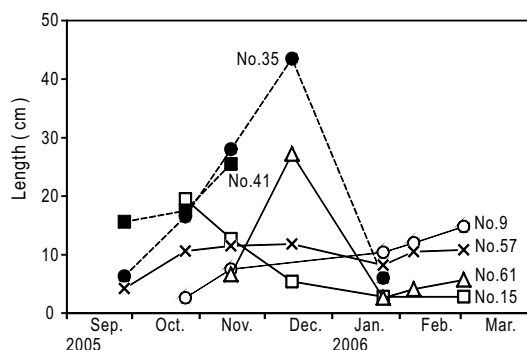


Fig. 4. Changes in the gametophyte length from September 2005 to March 2006. Of the 61 plants (Nos. 1–61) examined in total, six plants (Nos. 9, 15, 35, 41, 61) are shown here.

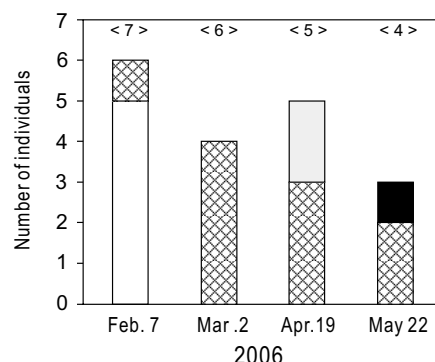
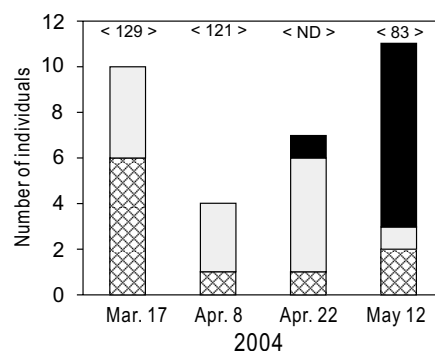
結果

配偶体

(1) 配偶体の出現状況

2005年1月～2010年12月までの河川流量変化と配偶体出現期における出現個体数との関係をFig. 2に示した。本論文における配偶体出現期とは、配偶体が発生する9月からその大部分が流失する翌年6月までをいい、佐藤ら（2006）において9年ぶりに配偶体の出現が確認された2003年9月～2004年6月までをI期とし、以後順次II～VIII期とした。II期には、配偶体の出現はわずか2個体（2005年3月）であった。2005年、2008年および2010年の夏期には大規模な洪水の発生はなく、VI期に確認された配偶体は2個体が最多で、VIII期は3個体が最多であった。しかし2005年のIII期では、9月中旬から配偶体が出現し始め、10月に36個体が確認された。一方、2006年、2007年および2009年の夏期にはそれぞれ日平均流量 $69.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ （2006年7月19日）、 $59.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ （2007年7月14日）および $64.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ （2009年8月9日）の大規模な洪水が発生し、配偶体はIV期には最多で125個体（2007年2月）、V期には78個体（2008年1月）、VII期には220個体（2009年12月）がそれぞれ確認された。

配偶体の出現はIII期（2005年9月12日）が最も早く、V、VI、VIII期で9月下旬に出現が認められた。その時期の水温変化を見ると、8月に 25°C 以上であった日平均水温は9月の中旬から下旬に 25°C 以下になった（Fig. 3）。



■ Female with carposporophytes
 □ Female ▨ Male □ Immature

Fig. 5. Number of plants identified in each of the following categories: immature, male, female, and female with carposporophytes. The numbers in brackets indicate the number of total plants found in the study site. Data are from the development periods I (2004) and III (2006).

(2) 配偶体の生長と成熟

配偶体出現期のIII期（2005年9月～2006年3月）に61個体を個体識別し、その生長を追跡調査した。そのうちの6個体の調査結果をFig. 4に示した。61個体のうち、54個体はNo.41のように生長過程の早い段階で流失した。No.35のように40 cm以上にまで生長しても、藻体の先端部が切断されて短くなり流失することもあった。No.9, 15, 57および61を含めて7個体が3月まで生育確認されたが、その時点での藻体の長さはいずれも15 cm以下であった。配偶体出現期のIおよびIII期における観察から（Fig. 5）、雄株における精子嚢形成は2～3月、雌株に受精毛が見られるのは3～4月であった。雌株に多くの果胞子嚢が形成されるのは5月中旬であった。安室川では3月から河川の水温は上昇し、4月中旬には 15°C 以上になり、5月下旬に 20°C に達した（Fig. 3）。2006年5月22日に採集した雌株で果胞子嚢が観察され、その日の平均水温は 18.8°C であった。またこのときには、放出された果胞子の中で発芽も観察された（Fig. 6）。

配偶体出現期のII期には雌株2個体、VI期には未成熟株1個体の配偶体がそれぞれ5月上旬まで生残したが、その直後に流失した。すなわち、IIとVI期においては調査区内で果胞子の生産が確認されなかった（Fig. 2）。

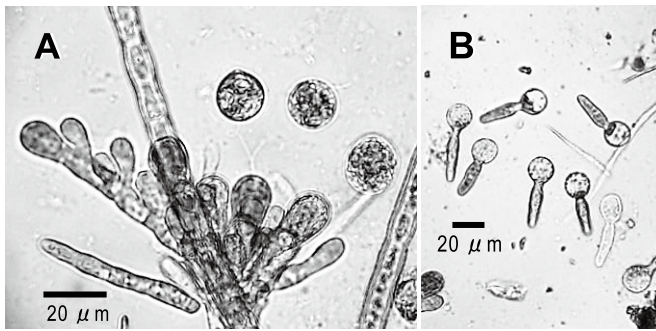


Fig. 6. Microscopic images of a carposporophyte (A) on a female plant collected in May 2006. Carpospores (A) and germinated carpospores (B) were observed.

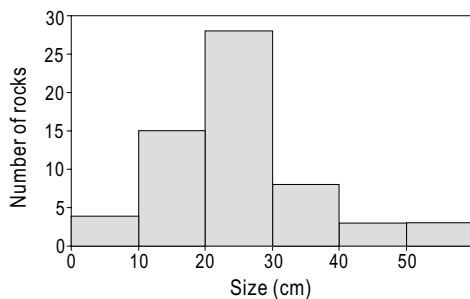


Fig. 7. Size distribution of the rocks to which the gametophytes were attached. The size indicates the major axis of the rocks.

(3) 付着する礫のサイズ

配偶体は河川中のさまざまな基質に付着して出現するが、最も多いのは河床の礫であった。配偶体出現期の III 期に観察した 61 個体について、藻体が着生した礫のサイズを計測した (Fig. 7)。その結果、配偶体は長径 20 ~ 30 cm の礫に 46 % (28 個体)、10 ~ 20 cm に 25 % (15 個体)、30 ~ 40 cm に 13 % (8 個体) が付着し、80 % 以上が 10 ~ 40 cm の大粒径の礫を主な付着基質としていた。

胞子体

胞子体は主に河床の礫に着生し、その礫サイズも配偶体のそれとほぼ同じであった。2006 年 4 月から 2008 年 1 月までの調査において、胞子体は周年観察された (Fig. 8)。2006 年の調査では、4 月から 8 月にかけて胞子体は減少し、

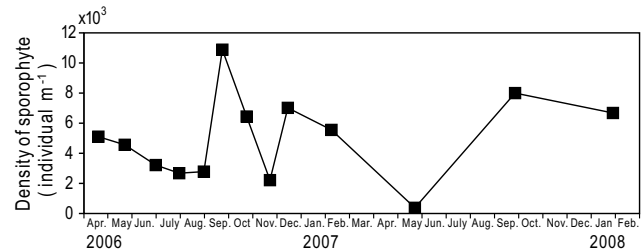


Fig. 8. Seasonal variations in the abundance of sporophytes.

9 月に急増した。9 月以降、胞子体は減少したが、12 月に再び増加した。2007 年は 5 月に少なく、9 月に増加し、1 月でも多数生育した (Fig. 8)。

2005 年 4 月から 2007 年 2 月まで、胞子体上の単胞子嚢形成の有無を定性的に調査した (Table 1)。単胞子嚢は 5 月から 11 月に形成が確認されたが、12 月から 4 月にかけては観察されなかった。単胞子嚢が観察された 5 月の日平均水温はそれぞれ 18.7 °C (2005 年 5 月 16 日) と 18.8 °C (2006 年 5 月 22 日) であり、11 月の水温は 14.4 °C (2005 年 11 月 15 日) と 14.1 °C (2006 年 11 月 25 日) であった。

考察

佐藤ら (2006) は、1991 年から 2004 年までの流量変化とチスジノリの出現との関係から、安室川では夏期 (7, 8 月) の日平均流量 40 m³ s⁻¹ 以上の大規模な洪水がチスジノリ配偶体の出現数を増加させることを指摘した。2005 ~ 2010 年の 5 年間の流量変化と配偶体出現数との関係からも、III 期を除き、夏期における大規模な洪水 (日平均流量約 60 m³ s⁻¹) がその年の出現数を増加させる傾向が認められた (Fig. 2)。しかし、夏期の大洪水が配偶体出現を誘発するメカニズムの詳細は不明である。

菊池川における配偶体の出現時期は 9 月頃である (Higa *et al.* 2007)。安室川での配偶体出現は 9 月中旬以降で、日平均水温が 25 °C 以下に低下する時期である。2004 年 9 月の台風の事例を除けば (佐藤ら 2006)、通常年の 9 月以降にチスジノリの配偶体と胞子体が着生する大粒径の礫を攪乱するような大洪水は発生しない。河川流量が安定化する中で配偶

Table 1. Sporophyte presence and the formation of monosporangium. Sporophytes were observed year-round. Monosporangial formation was observed from May to November (+), but not from December through the following April (-).

	2005									2006			
	Apr. 13	May 16	Jun. 23	Jul. 28	Sep. 12	Sep. 27	Oct. 25	Nov. 15	Dec. 13	Jan. 24	Feb. 7	Mar. 2	
Sporophyte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Monosporangial formation	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	
	2006									2007			
	Apr. 19	May 22	Jun. 30	Jul. 30	Aug. 30	Sep. 22	Oct. 24	Nov. 21	Dec. 14		Feb. 7		
Sporophyte	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		
Monosporangial formation	-	+	+	+	+	+	+	+	-		-		

体は生長をはじめが、藻体の切断や流失のため3月まで順調に生長を続ける個体は少ない (Fig. 4)。

配偶体の生殖器官は、菊池川では12月頃から雄株に精子嚢、雌株に受精毛がそれぞれ形成され始め、雌株に果孢子嚢が見られるのは4月である。その後、配偶体は5月の河川増水に伴って流失する (Higa *et al.* 2007)。安室川では、雌雄株の生殖器官形成が3月頃で、3～4月が受精可能期間と推定され、5月中旬に雌株で果孢子嚢が多数形成される (Fig. 5)。配偶体の成熟時期が菊池川より安室川で遅いのは、冬期の水温の差違によると考えられる。菊池川の年間最低水温は9.5℃ (2004年1月) (Higa *et al.* 2007) であるが、安室川の調査区域は最低水温が5.0℃になることがある (佐藤ら 2006)。

2005～2010年までの調査区内における果孢子生産と配偶体出現数との関係を見ると、配偶体出現期III (2006年5月) では1個体に果孢子形成が観察され (Fig. 5)、II期とVI期では配偶体が5月上旬にすべて流失したため果孢子は生産されなかった (Fig. 2)。ところが、それぞれの次の配偶体出現期のIII、IVおよびVII期には多数の配偶体が出現した。このうち、IV期とVII期ではそれに先だって夏期に大洪水が発生した。また、それとは逆に、前の配偶体出現期に果孢子の生産が確認されても、II、VIおよびVIII期のように、夏期に大洪水がなければ配偶体の出現数は少ない (Fig. 2)。以上のことから、同一年の5月における果孢子の生産量と、9月以降の配偶体の発生数とは直接関係しないことが示される。

果孢子は放出されると、すぐに発芽することが観察された (Fig. 6)。菊池川のチスジノリでは、室内培養において果孢子が孢子体へと生長し、孢子体は20℃以上で単孢子を多数形成することが確認されている。 (Higa *et al.* 2007)。安室川においても、発芽した果孢子は孢子体へと生長すると考えられる。しかし、果孢子の生産量と配偶体の出現数とは関係しないことから、現場においても果孢子から生長した孢子体は直ぐに配偶体を形成するのではなく、何らかの誘発因がない限り無性世代を継続すると推定される。

チスジノリの孢子体は安室川と菊池川の両方で周年観察される。孢子体出現数の経年変化は、菊池川では夏期に多く、冬期に減少する (Higa *et al.* 2007)。安室川では2006年と2007年ともに孢子体数は9月に増加した (Fig. 8)。両年は夏期に大洪水が発生し、ここでの増加は礫に付着する懸濁物や、珪藻など他の藻類が一掃されたことによって、孢子体が増殖機会を得たためと考えられる。一方、9月以降は河川流量が安定になり、礫表面への付着物の増加が孢子体減少の一因と思われる。9月以降の小規模な増水もまた礫の付着物を減少させ、それが孢子体増加の要因となっている可能性がある。安室川では5～11月までの水温約15℃以上の期間に孢子体で単孢子が盛んに生産される。孢子体は多年生 (Higa *et al.* 2007) として生残する個体もあるが、その季節消長と単孢子生産の状況から、現場では増殖と消失が頻繁に起

こっていると推定される。

最近、広島県東広島市の関川 (太田川水系) において、チスジノリ配偶体の生育が再確認された (佐藤ら 2009)。関川では、1986年に発見されて以後、生育状況は不明とされてきたが (瀬戸ら 1993)、2006年夏期に孢子体、2007年3月に配偶体の生育がそれぞれ確認された。関川のチスジノリでも孢子体の単孢子形成が観察され (佐藤ら 2009)、現場における無性生殖が確認されている。

以上から、安室川のチスジノリでは配偶体による有性生殖は不定期に行われ、孢子体の無性生殖によって個体群が維持されていると考えられる。関川の場合も同様と推察され、これらの河川におけるチスジノリ保全には孢子体の生育が維持できる環境の保全が不可欠である。

謝辞

本調査を行うにあたり、安室川再生計画委員会 (2002年12月～2011年3月、委員長：道奥康治・神戸大学教授) の委員の皆様からは安室川のチスジノリに関する貴重な情報と助言を頂いた。また、兵庫県西播磨県民局・光都土木事務所からは調査において様々な配慮を賜った。ここに記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Higa, A., Kasai, F., Kawachi, M., Kumano, S., Sakayama, H., Miyashita, M. & Watanabe, M. M. 2007. Seasonality of gametophyte occurrence, maturation and fertilization of the freshwater red alga *Thorea okadae* (Thoreales, Rhodophyta) in the Kikuchi River, Japan. *Phycologia* 46: 160-167.
- 環境省編 2007. レッドリスト (植物II) 藻類 http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=9948&hou_id=8648
- 熊野茂・新井章吾・大谷修司・香村真徳・笠井文絵・佐藤裕司・洲澤譲・田中次郎・千原光雄・中村武・長谷井稔・比嘉敦・吉崎誠・吉田忠生・渡邊信 2007. 環境省「絶滅のおそれのある種のリスト」(RL) 2007年度版 (植物II・藻類・淡水産紅藻) について. *藻類* 55: 207-217.
- 岡田喜一 1950. チスジノリ新知見. *植物研究雑誌* 25: 145-146.
- 佐藤裕司・横山正・真殿克磨・辻光浩・水野雅光・魚留卓・妹尾嘉之・杉野伸義・永野正之・三橋弘宗・浅見佳世・道奥康治・原田一二三 2006. 兵庫県上郡町・安室川における淡水産紅藻チスジノリ配偶体の出現 ― 特に河川の流量変化との関係について ―. *陸水学雑誌* 67: 127-133.
- 佐藤裕司・杉野伸義・宮田祥史 2009. 広島県東広島市・関川 (太田川水系) における淡水産紅藻チスジノリの生育状況. *人と自然* 20: 129-132.
- 瀬戸良三・右田清治・真殿克磨・熊野茂 1993. 兵庫県安室川産の淡水産紅藻チスジノリとチスジノリ属2種の日本における分布. *藻類* 41: 355-357.
- Yamada, Y. 1949. On the species of *Thorea* from the Far Eastern Asia. *J. Jap. Bot.* 24: 55-158.
- 吉崎誠 1993. *Thorea okadae* Yamada (チスジノリ). 堀輝三 (編) 藻類の生活史集成, 第2巻, 褐藻・紅藻類. pp. 226-227. 内田老鶴圃, 東京.

(Received May 18, 2012; Accepted Dec. 28, 2012)