九州地方のダム湖における外来緑藻 *Micrasterias hardyi* の侵入状況

九州大学大学院工学研究院　環境社会部門　都市環境工学研究室

藤林　恵

九州地方のダム湖における外来緑藻 *Micrasterias hardyi* の侵入状況

藤林　恵

1.　背景と目的

Micrasterias hardyi（写真 1）は緑藻のチリモ科ミクラステリアス属に分類される微細藻類である。本種はオーストラリアやニュージーランドの固有種であるが、2011 年に琵琶湖で初めて国内で検出されると、2016 年には大増殖し、琵琶湖の優占種となった[1)]。*M. hardyi* は直径がおよそ 200 μm と大きく、動物プランクトンから捕食されにくいと考えられている。また、*M. hardyi* を餌として二枚貝のシジミ類を飼育すると肥満度や成長量が低下することが示されており[2)]、本種の侵入・生息域の拡大は競争による在来藻類の駆逐の他、食物網の分断を通して在来生態系に多大な悪影響を及ぼす可能性がある。*M. hardyi* と同じチリモ科の緑藻が鳥に付着して分布域を広げている例が知られており[3)]、*M. hardyi* も渡り鳥に付着して琵琶湖に侵入した可能性が考えられる。原産地であるオーストラリアから本州に飛来する鳥類の中には、九州を経由するものも含まれ、九州地方においても *M. hardyi* が既に侵入している可能性が十分に考えられる。また、*M. hardyi* の増殖特性に関する知見は少なく、どのような環境条件下で大発生するのかは分かっていない。*M. harydyi* が好む環境条件を特定することができれば、本種の増殖リスクを事前に予測することが可能である。

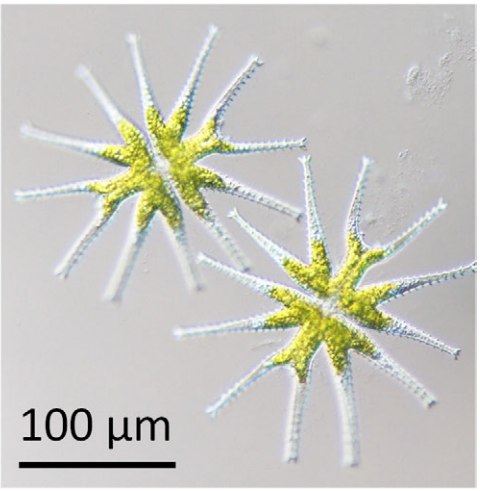

写真 1　*Micrasterias hardyi* の顕微鏡写真

そこで本研究では、*M. hardyi* の九州地方における侵入状況や増殖リスクを明らかにするために、九州北部のダム湖を中心に侵入状況を調べるとともに、実際の湖沼のろ過水を用いた培養実験を行い、本種の増殖が大きくなる水質の特徴について考察した。

2.　方法

2.1　九州地方のダム湖における侵入状況の調査

表 1 に示した 22 か所で調査を行った。比較のために琵琶湖に隣接する滋賀県の余呉湖も対象とした。各調査地点において、表層の湖水を 50～200 L 採水し、100 μm プランクトンネットで湖水をろ過した。桟橋や橋の上から調査を行った地点においては、100 μm プランクトンネットを直接湖沼に投下・鉛直曳きし、ネットを引いた距離から濾水量を計算した。北山ダムではボート上から同様にサンプリングを行った。得られたサンプルは 1%ホルマリ

ンで固定し、顕微鏡で *M. hardyi* の在・不在を確認した。本調査での検出限界細胞密度は 0.4～3.5 cells L^{-1} であった。

表 1　本研究における調査対象湖沼およびダム貯水池

県	調査対象地
福岡県	丸田池、牟田池、新池、鴨生池、小野牟田池、駕与丁池、白水池 牛頸ダム、山神ダム、花宗溜池、瑞梅寺ダム
佐賀県	北山ダム、嘉瀬川ダム、河内ダム
長崎県	諫早調整池
大分県	梅林ダム
熊本県	竜門ダム、緑川ダム、氷川ダム、下江津湖、上江津湖
滋賀県	余呉湖

なお、後述の通り、*M. hardyi* の増殖量の大きかった北山ダムにおいては 2021 年 6 月以降、月に 1 回調査を行い、継続的に *M. hardyi* の侵入状況を調べた。また、植物プランクトン、動物プランクトン（2022 年 1 月）の種構成を調べた。

2.2　ろ過湖水を用いた *M. hardyi* の増殖試験

北山ダム、嘉瀬川ダム、諫早調整池、丸田池のろ過湖水を用いて *M. haydyi* の増殖試験を行った。比較のために、*M. hardyi* の大発生が確認されている琵琶湖の湖水も用いた。さらに栄養塩類の影響を評価するために、北山ダムの湖水に KNO_3 と β–Na2glycerophosphate · $5H_2O$ を N と P 濃度がそれぞれ 5 ppm となるよう添加した 2 つの系を用意し、計 7 系列で増殖実験を行った。各系 3 連とし、試験管にそれぞれの湖水（0.45 μm ろ紙でろ過済み）9.8 mL と事前に培養していた *M. hardyi* 培地を 200 μL を加えた。増殖実験中は 12 時間サイクルで 100 μmol m^{-2} sec^{-1} の人工灯を当て、ローテーターを用いて緩やかに攪拌した。増殖試験は 32 日間行い、定期的に *M. hardyi* 細胞数を計数した。*M. hardyi* の琵琶湖での優占化が冬に確認されていることを考慮して、試験期間中、水温は 8～10℃程度に維持した。また、各湖水の栄養塩濃度（アンモニア、亜硝酸、硝酸、リン酸、珪酸）をオートアナライザー（BL テック社）を用いて分析した。

3.　結果と考察

3.1　九州地方における *M. hardyi* の侵入状況について

本研究で調査した 22 の湖沼、ダム貯水池において、*M. hardyi* は検出されなかった。とくに、本種が大発生している琵琶湖に隣接している滋賀県余呉湖からも検出されなかった。

琵琶湖での大発生前年にあたる 2015 年の *M. hardyi* の密度は 172 cells/L であった [1)]。本研究の検出限界細胞密度は 0.4～3.5 cells L^{-1} であり、琵琶湖大発生前年の密度を十分に検出する感度である。そのため、現時点においては本調査で対象とした九州地方の湖沼、ダム貯水池においては、*M. hardyi* が侵入していない、あるいは侵入していたとしても極めて低濃度であり、大発生のリスクは低い状態にあると考えられる。

3.2　*M. hardyi* の増殖特性について

各ろ過湖水および北山ダムのろ過湖水に栄養塩を添加し、*M. hardyi* を培養した際の実験終了時（32 日後）の *M. hardyi* 細胞密度の結果を図 1 に示す。初期の供試細胞密度が 50～100 cells L^{-1} であり、嘉瀬川ダム、諫早調整池、丸田池のろ過湖水では *M. hardyi* がほとんど増殖しなかった。これらの湖沼、ダム貯水池に *M. hardyi* が侵入しても、大発生のリスクは相対的に低いものと考えられる。対して、*M. hardyi* の大発生が確認されている琵琶湖の湖水を用いた系で *M. hardyi* の顕著な増殖が確認された。琵琶湖で *M. hardyi* が大発生したのは、琵琶湖の水質が本種の増殖に適しているためであると考えられた。また、北山ダムのろ過湖水を用いた系においても、琵琶湖と同等の増殖が確認された。北山ダムにおいて *M. hardyi* の侵入は確認されていないものの、本実験結果は *M. hardyi* が北山ダムの水質を好むことを示している。

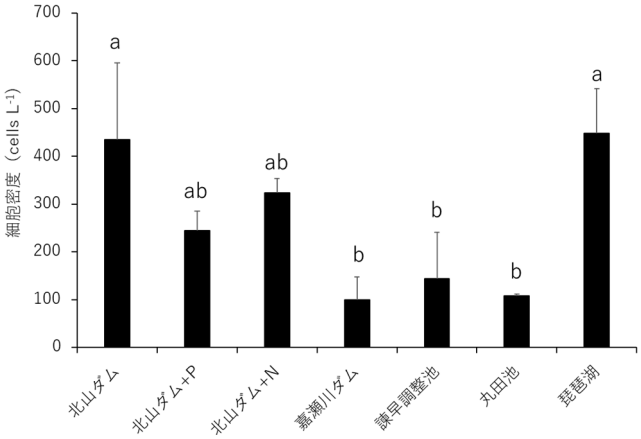

図 1　増殖試験最終日の *Micrasterias hardyi* 細胞密度（エラーバーは標準偏差、異なるアルファベットは Tukey’s test の有意差（$p < 0.05$）ありを示す）

北山ダムのろ過湖水に硝酸あるいはリン酸を添加した系では、栄養塩を添加しなかった北山ダムのろ過湖水を用いた系と比較して、統計的な有意差は見られなかったものの増殖量が減少傾向にあった（図 1）。原産地のオーストラリア地方においても、*M. hardyi* は比較的貧栄養な湖沼で検出されていることから、栄養塩添加による富栄養化が直接的に増殖速度を増加させなかったものと推察される。実際に、供試したろ過湖水と *M. hardyi* 増殖量との関係に注目すると、ろ過湖水のアンモニア態窒素濃度と *M. hardyi* 増殖量との間に負の関係が見られた。アンモニア態窒素濃度が低い湖水ほど増殖量が大きくなった機構についてはさらなる研究が必要であるが、本種が貧栄養な水質を好む傾向があることは、増殖リスクを考えるうえで重要である。

なお、本試験で確認された *M. hardyi* の比増殖速度はもっとも大きかった琵琶湖や北山ダムでも 0.03 day^{-1} と小さい値であった。それにもかかわらず、琵琶湖で大発生し優占種とな

ったのは、動物プランクトンの摂食から逃れられる特性など、生態系の中での他の生物との相互関係が関与している可能性がある。そのため、今後は藻類間競争や摂食者との関係などについても知見を重ねていくことが必要であろう。

3.3　北山ダムの藻類組成について

増殖試験の結果、北山ダムの水質は *M. hardyi* の増殖に適していることが示された。北山ダムにはカモ類などの渡り鳥も飛来しており、ダム外からの藻類の侵入の機会も想定される。また、九州随一のワカサギ釣りのメッカとして釣り客や観光客に親しまれているが、大型藻類の *M. hardyi* はワカサギの餌である動物プランクトンの生産を低下させる恐れがあり、本種の侵入・定着・大発生は生態系上のリスクとなる。

北山ダムの緑藻綱の動態に注目すると夏季に多くあらわれ、12 月以降にその割合が急激に減少することが明らかとなった（図 2）。琵琶湖でも冬季に *M. hardyi* が優占しているが、琵琶湖の主な緑藻である *Staurastrum dorsidentiferum* は比較的水温の暖かい時期に優占する[4)]。今後の検討が必要であるが、冬季は緑藻のニッチェが空白になりやすく、低水温でも増殖可能な *M. hardyi* が侵入先の湖沼で優占しやすいのかもしれない。また、2022 年 1 月の北山ダムの動物プランクトン相に注目すると、ワムシ類が多い状況にあることが分かる（表 2）。優占種の *Synchaeta* sp.は体長さ数百 μm 程度であり、ほぼ同等のサイズである *M. hardyi* を餌として利用できない可能性が高く、摂食圧も働きにくいと予想される。水質や生態系構造の観点から北山ダムでは *M. hardyi* が増殖しやすい可能性が考えられ、今後も侵入状況について注視していくことが望ましいと考えられる。

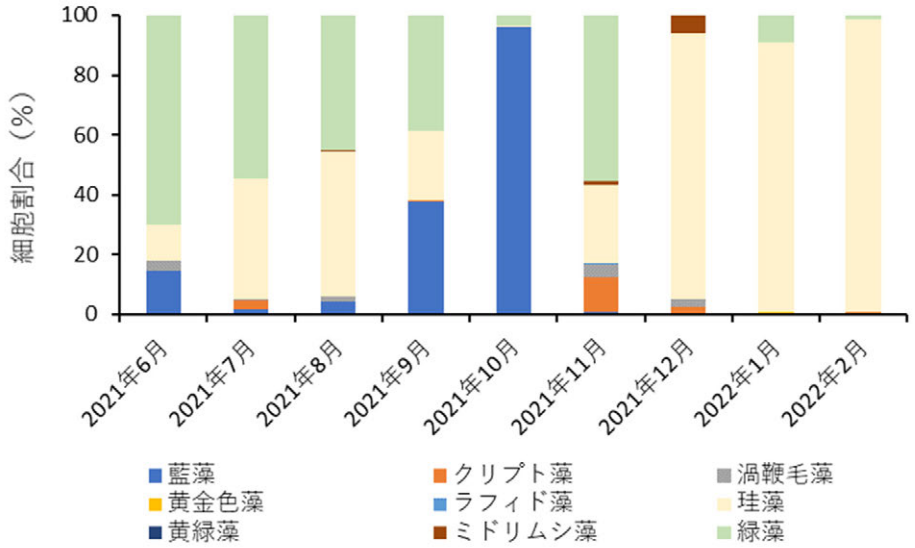

図 2　北山ダムにおける藻類綱ごとの細胞数割合の経月変化

表 2　2022 年 1 月における北山ダムの動物プランクトン相

種名	個体数(個体/L)
繊毛虫	
Tintinnopsis sp.	0.8
ワムシ	
Brachionus angularis	0.2
Brachionus calyciflorus	22.4
Keratella quadrata	0.8
Polyarthra sp.	4
Synchaeta sp.	139.2
Filinia longiseta	0.3
ミジンコ	
Bosmina longirostris	0.2
合計個体数(個体/L)	167.8

4.　結論

本研究では外来種であり、生態系への悪影響が懸念される緑藻の *M. hardyi* の九州地方の湖沼、ダム貯水池における侵入状況と、増殖特性について検討するために、九州の 21 湖沼、ダム貯水池を対象に *M. hardyi* の侵入状況を調査するとともに、ろ過湖水を用いた増殖試験を行った。その結果、本調査対象湖沼、ダム貯水池からは *M. hardyi* は検出されなかったが、佐賀県北山ダムのろ過湖水を用いた増殖試験によって、北山ダムの湖水は、既に *M. hardyi* が大発生している琵琶湖と同等の増殖ポテンシャルを有していることが明らかとなった。*M. hardyi* は冬季に琵琶湖で優占したが、北山ダムでは冬季に競争相手となりうる緑藻の割合が低下すること、また小型の動物プランクトンが優占することから、*M. hardyi* の侵入に対してリスクが大きいと推察された。

謝辞

本研究を遂行するにあたっては、一般社団法人九州地方計画協会に助成をいただきましたこと、ここに記し感謝の意を表します。*M. hardyi* の増殖試験を行うにあたり、琵琶湖環境科学研究センターの一瀬諭博士より培養株の提供を受けました。感謝申し上げます。

参考文献

1）Hodoki et al. 2020. *Limnology* Vol. 21, 67-72.

2) Fujibayashi et al. 2021. *Harmful Algae* Vol. 101, 101967.

3) Kristiansen, J. 1996. *Hydrobiologia* Vol. 336, 151-157.

4)一瀬諭、2018. 琵琶湖における *Micrasterias hardyi* の季節性とその動向、第 55 回日本水処理生物学会郡山大会