

淀川水系の京都府木幡池における特定外来生物 ボタンウキクサの越冬調査とその防除

目 次

要旨	1
1. はじめに	3
2. 工場の温排水が流入する京都府宇治市にある木幡池の定点観測調査	4
2. 1 調査地	4
2. 2 調査方法	5
2. 3 結果	6
2. 4 考察	10
3. 冬季の水温、気温とボタンウキクサ栄養体の越冬調査	11
3. 1 調査方法	11
3. 2 結果	14
3. 3 考察	17
4. 木幡池におけるシードバンクの有無とボタンウキクサ種子の発芽能力の解明	18
4. 1 調査方法	18
4. 2 結果	20
4. 3 考察	21
5. 木幡池と類似環境の比較 -熊本県江津湖のボタンウキクサー-	22
5. 1 調査地	22
5. 2 調査方法	23
5. 3 結果	25
5. 4 考察	35
6. 総合考察	36
謝辞	38
引用文献	39

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

神戸大学大学院 農学研究科 伊藤一幸

kitoh@people.kobe-u.ac.jp

要旨

京都府宇治市にある木幡池では、2007-2008 年冬季はボタンウキクサの多くの栄養体が越冬し、その年の夏季は再び大繁殖した。2008 - 2009 年冬季は、2009 年の 1 月の調査ではボタンウキクサは越冬したもの多くの栄養体が枯死しており、群落の面積も急減していた。2009 - 2010 年冬季は、2009 年の 12 月の調査では、ボタンウキクサの栄養体が木幡池北池の 3 分の 1 ほどを覆っていた。しかし、ボタンウキクサ群落は、2010 年 2 月 16 日には寒さで枯死し消えてしまい、2010 年 12 月に小さな群落を形成したものの、2011 年 1 月の調査ではボタンウキクサは枯死し、栄養体は 1 個体も発見できなかった。

2007 年 12 月の温排水が流れ込む木幡池 北池の水温は平均水温が 21.9°C、最低水温が 19.5°C であった。一方、流れ込まない中池では、平均水温が 8.2°C、最低水温が 4.2°C であった。北池では温排水が流入していることで、冬でも高い水温を保っている。北池では多量のボタンウキクサの栄養体がみられたのに対して、中池では全くみられなかつた。ボタンウキクサは温排水の下で越冬しており、平均水温 8.2°C はボタンウキクサの栄養体にとって生存が難しい温度であろうと考えられる。

2010 年 2 月 7 日 0 時～24 時までの 24 時間の温度の推移は、北池のボタンウキクサの葉の下では最低気温でさえ 3 時 45 分に 12.1°C を示し、平均気温は 15.0°C であった。一方で、葉の上の最低気温は 4 時 15 分に 4.2°C まで低下し、平均気温は 7.7°C であった。葉の下の気温が高いのは、高い水温によって暖められた空気が重なり合つた葉の下を温室状態にしているためだと考えられる。大きな栄養体のロゼットの下に存在していた小さな栄養体は大きなロゼットの葉により霜を防ぐことができ、高い気温を保つことができたため、小さな栄養体の生長点が保温され越冬するのだと考えられる。

これらの結果から考えるに、近年木幡池北池におけるボタンウキクサの栄養体が激減しているのは、上流の家電工場からの温排水の有無と大きく関係している。すなわち、越冬が確認された 2007-2008 年冬季は家電工場からの温排水の流入は連続操業のため、正月三が日を含めてまったく止まらなかつた。ボタンウキクサの減少が激しかった 2008-2009 年は、1 月 1 日から 4 日までの 4 日間工場の操業が止まり、温排水が流れていなかつた。4 日間の温排水の停止でボタンウキクサはかなり減つた。ボタンウキクサが越冬できなかつた 2009-2010 年は温排水が真冬の 2 月 9 日から 14 日までの 6 日間停止していた。温排水の流入がなくなり、北池が低水温になつたためにボタンウキクサが枯死してしまつたと考えられる。最も寒い 2 月の 6 日間の温排水の停止は、ボタンウキクサの冬季の生残に致命的な影響を与えると考えられた。

採集した底質 56kg をそのまま代播きをし、温室で湛水環境を維持したところ、5 ヶ月間経過してもボタンウキクサの発芽はまったくみられなかつた。その底質を乾燥後に代播きをし、湛水環境を維持したところ、30 粒の発芽が見られた。ボタンウキクサの種子の発芽には乾燥の過程が必要であることが分かつた。したがつて、木幡池にはこれまでに生産されたボタンウキクサの種子が沈んでいるため、巨大なシードバンクが存在するものと考えられる。ボタンウキクサの種子繁殖についてはさらに検討する必要がある。

火山の影響で天然の高温水が常時流入し、現在もなおボタンウキクサが越冬と繁殖を続けている熊本県江津湖において、冬季のボタンウキクサの生残と水温、気温を調査した。

冬期間に江津湖で湧き出た温水は18.0~18.5°C（平均18.3°C）であった。これが流下するにつれてすこしづつ下がったが、最低気温が0°Cのときに調査地の中の最も暖かった場所では最低水温が12.2°Cであり、ここではボタンウキクサが越冬できた。したがって、冬季の最低水温が12°C以上を維持する場所では温水でも温排水でも熱帶産のボタンウキクサは越冬できるものと考えられる。

温排水が冬季に停止する条件では、栄養繁殖だけで生活環を回すのは困難であり、種子繁殖との組み合わせが必要になる。しかし、だんだんに馴化して温帶に適応したボタンウキクサが生じた場合、夏に発芽した個体から急激に増殖して淀川の城北ワンド等で増殖するかどうかについてはさらに検討する必要がある。

1. はじめに

ボタンウキクサはサトイモ科ボタンウキクサ属の熱帯・亜熱帯に広く分布する浮遊性の多年生水生植物である¹。学名は *Pistia stratiotes* L. (Araceae)、英名は water lettuce である。原産地は南アメリカであると考えられている²が、移動性が大きいため不明の点も多い。主にストロンによる栄養繁殖で爆発的に増殖するが、種子繁殖も併せて行い生育に適さない環境では種子により生存することができる³。

日本では環境省から特定外来植物に指定されており、日本各地の都市周辺の河川で水面を覆い尽くし、被害を発生させる雑草である。ボタンウキクサが引き起こす問題として、①水上交通・取水に被害を与えること、②絶滅危惧種とされている多くの在来の水草・水生生物からその生育場所を奪ってしまうこと⁴、③日本の美しい河川景観を破壊してしまうことなどが挙げられる。

京都府宇治市に位置する木幡池は、淀川水系に属しており、堂の川の水が流れ込み宇治川を通して淀川へ流れだしている。その下流である大阪府淀川の城北ワンド群では 2000 年ごろからボタンウキクサが目立ち始め、除去作業を実施している。ボタンウキクサは常緑多年生の植物であるが、熱帯産であるため日本では越冬できないとされている。しかし、都市はヒートアイランドであり、温水が常時流入する場所もある。木幡池では工場からの温排水が流入しており、高い水温のため越冬している可能性がある。

そこで、本研究では、淀川水系におけるボタンウキクサの定着要因を解明するため、木幡池におけるボタンウキクサの冬季の生残と水温との関係を明らかにすることを目的とする。得られた結果は、熱帯から侵入した外来植物から日本各地の河川環境を保全する方法を考える上で重要な知見をもたらすはずである。

この研究では、木幡池におけるボタンウキクサの冬季の生残と水温との関係を明らかにするため 3 つの調査を行った。まず 1 つ目に、工場の温排水が流入する木幡池の定点観測調査を行い、年間のボタンウキクサの生育量の変化を把握した。2 つ目に、冬季の水温と気温の経時的測定を行い、ボタンウキクサが越冬する微気象条件を調査した。3 つ目に木幡池におけるシードバンクとその発芽能力の有無を調査し、種子による越冬と繁殖の可能性を観察した。さらに、現在もなおボタンウキクサが越冬と繁殖を続けているとみられる熊本県江津湖において、冬季の生残と水温を調査したので報告する。

2. 工場の温排水が流入する京都府宇治市にある木幡池の定点観測調査

ボタンウキクサは淀川では流れの緩やかな岸部付近で夏秋に繁殖し、パワーショベルでくい上げて駆除している。この淀川の城北ワンドで繁殖しているボタンウキクサは、木幡池から宇治川を流れ、淀川に定着した可能性が高い。木幡池は工場からの温排水が流入しており、高い水温が保たれている。その結果、ボタンウキクサの栄養繁殖体が越冬していると考えられる。そこで、木幡池の通年の生育量の変動を調査する。

2. 1 調査地

調査地は、京都府宇治市の木幡池（面積約13ha、北緯34度55分、東経135度47分）の北池である。木幡池は南北に広がり、北池、中池、南池の3つに東西に走る2本の道路によって分けられ、それぞれの池は細い水路によって繋がっている。中池と南池は水の流入出が少なく、停滯した池であるが、北池は2本の川（堂の川と六地蔵川）が流れ込む河川状の池である。2本の河川は、木幡池北池で交わり、北池の北西に位置する大島排水機場から山科川へ排水されている。北池に流れ込む堂の川の上流100mほどにパナソニックの工場があり、温排水を堂の川に排水している。

木幡池北池は池内を走る河川以外は、比較的乾燥した湿地帯である。湿地帯の植生はヨシ *Phragmites australis* が優占しており、ガマ *Typha latifolia*、カヤツリグサ類 *Cyperus* spp. も少しであるが見られる。北池内を走る河川の植生は、ボタンウキクサ *P. stratiotes* が優占しており、池を覆い尽くしている。ホテイアオイ *Eichhornia crassipes* も見られるが、ボタンウキクサの繁殖力に押され、池の隅の方か池内に小さく群落を形成している程度である。在来種の植物相は非常に貧弱であり、一般的に見られる、ヒシ *Trapa japonica* 等の浮葉植物やエビモ *Potamogeton crispus* 等の沈水植物は全く見られない。

2. 2 調査方法

(定点観察調査) ボタンウキクサを定点観察した地点は図1に示した。京都府宇治市木幡池の、工場からの温排水が木幡池に流れ込む地点（北緯34度55分41.88秒、東経135度47分32.82秒、撮影箇所A、B）と、木幡池に隣接するマンションの東側（北緯34度55分42.38秒、東経135度47分27.53秒、撮影箇所C、D）の2地点を調査地点とした。調査地点を挟み込むように、それぞれ反対側の2箇所（A、B、C、D）から写真撮影を行った。写真撮影は、2007年12月から2009年2月まで、2009年12月から2011年1月までの2期間、月に一度行った。合計4回の木幡池における冬季のボタンウキクサを観察した。

(被度・サイズ調査) 図1に示す5地点（①～⑤）のボタンウキクサの被度とサイズの調査を行った。被度とサイズの調査は、2007年11月から2009年1月の期間、約2カ月に1～2回行った。被度の調査として、まったく同じ地点・ズーム・角度で写真撮影をして得られた写真を印刷し、池の面積とボタンウキクサの覆っている部分をハサミで切り取り、それぞれの重量をはかった。測定した写真の重量のうち、ボタンウキクサが覆っている部分の写真の重量の割合を、その地点におけるボタンウキクサの被度とみなした。サイズは定規を葉にあてて測定した。ストロンが切り離されていると確認できた水面に浮いているボタンウキクサを真上から見下ろしたときに最も長い箇所を直径とした。測定した個体は、それぞれの地点からランダムに20個体選び出した。

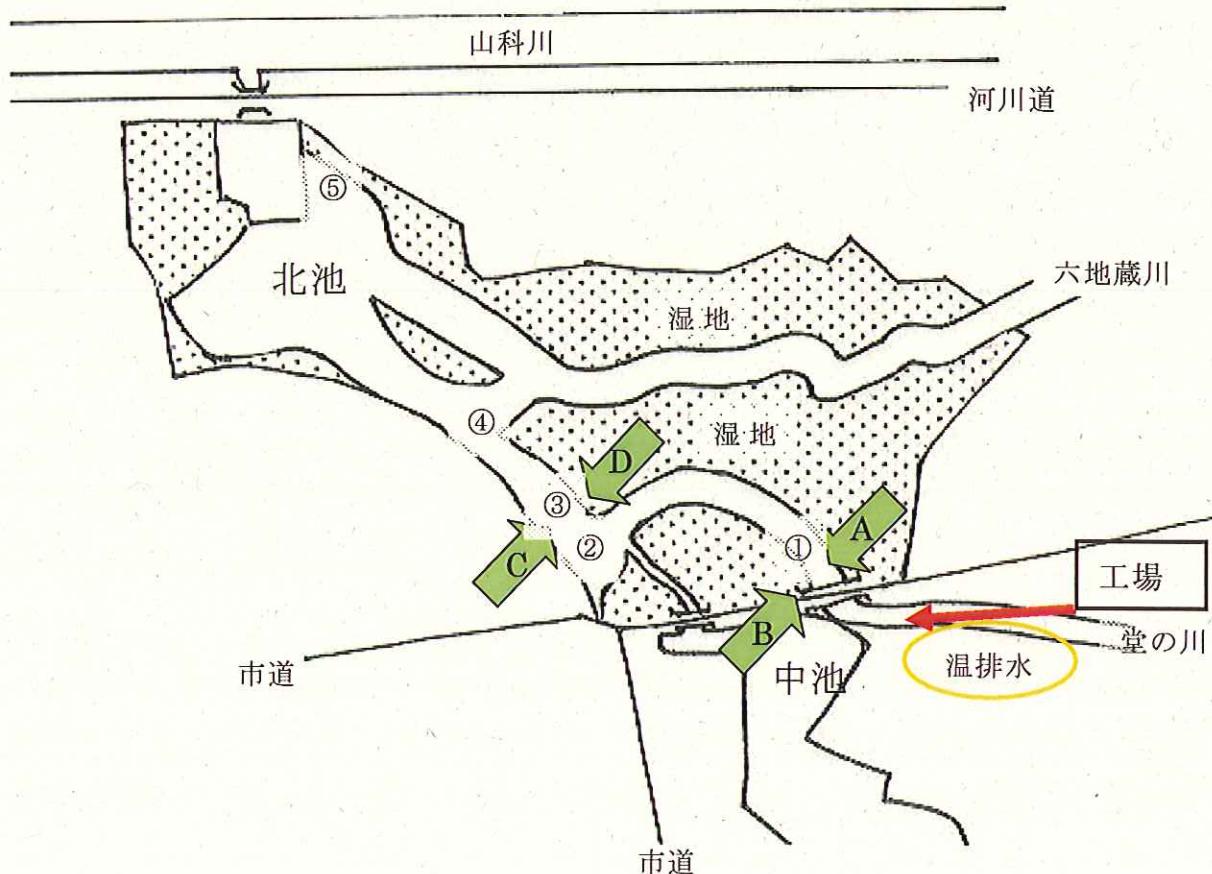


図1. 木幡池北池の定点観察地点

2. 3 結果

図2、3に示すように、木幡池では、2007–2008年冬季はボタンウキクサの栄養体が越冬した。2007年11月の調査では、ボタンウキクサは水面の二分の一を覆うほど、マット状に広がっているのが観察された。また、2007年11月のボタンウキクサの平均直径が36.17 cm、最大直径が45.7 cm、被度は87%と、直径・被度ともに調査期間中最大を記録した。このとき、栄養体の大きさはバラつきが大きく、大小さまざまなものが見られた。2008年2月の調査では、ほとんどのボタンウキクサが枯死しており、岸にそってヨシが覆いかぶさった場所に少しだけ越冬した栄養体が見られた。直径も大きく減少し、平均直径4.68cm、被度は55%だった。大きな栄養体はほぼ全てが枯死し、小さな栄養体ばかりとなっていた。大きな栄養体は、気温と水温の低下とともに葉が徐々に外側に開き、霜が降りるとともに葉は先端から灰褐色となり枯死し始め、大きい栄養体の葉の水面との角度が徐々に小さくなり水面と並行になった後に完全に枯死した。被度は、枯死した栄養体が流れされずにその場に留まっており、極小を記録したのは4月になってからであり、23%であった。



図2. 2007–2008年冬季 調査地点A、Bの様子



図3. 2007–2008年冬季 地点C、Dの様子

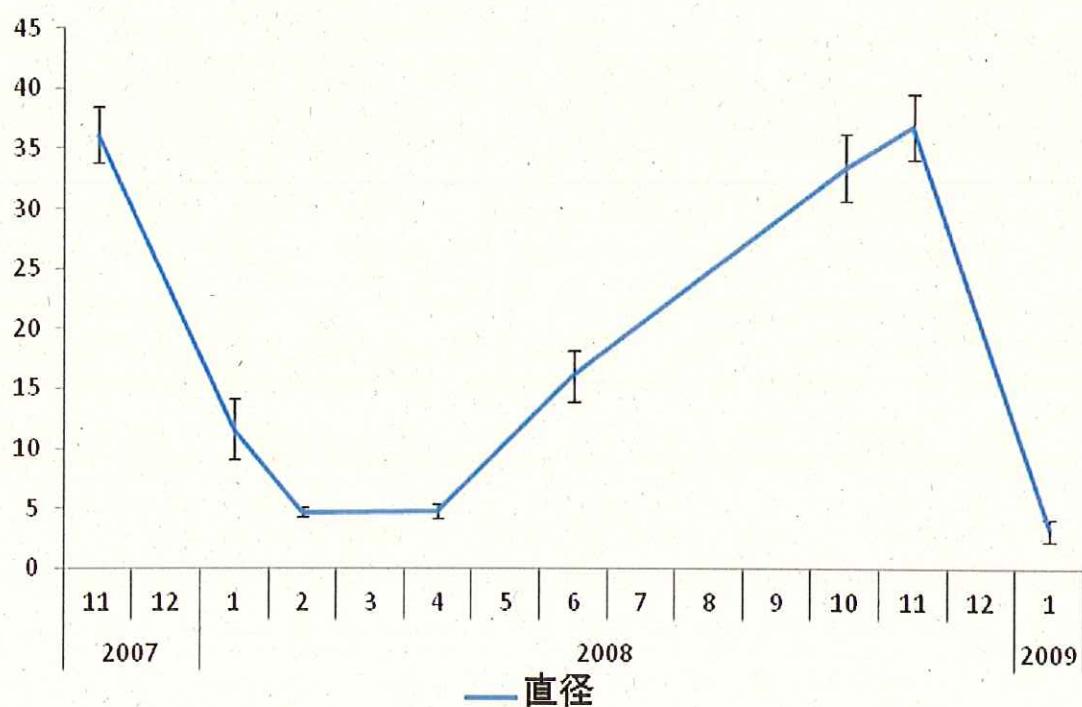


図4. 2007年11月から2009年1月までの、ボタンウキクサの直径の推移

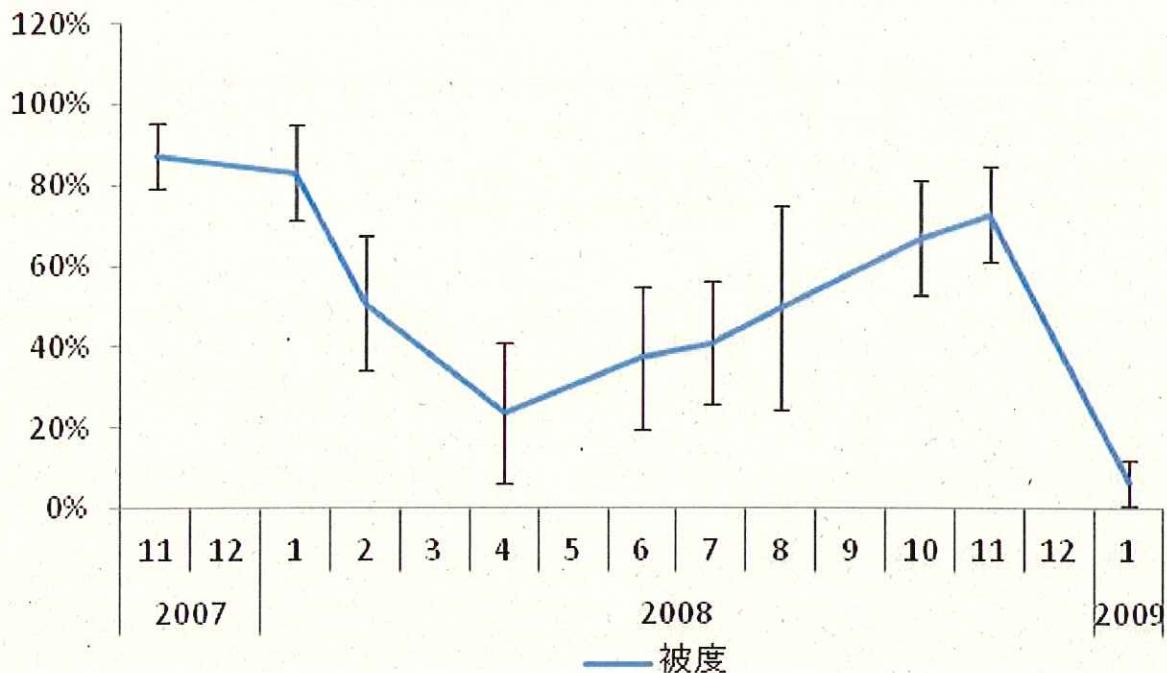


図5. 2007年11月から2009年1月までの、ボタンウキクサの被度の推移

2008–2009年冬季も栄養体は越冬した。2008年11月の調査ではボタンウキクサはマット状に再び大きな群落を形成し、平均直径33.3cm、最大直径40.1cm、被度73%となり、2007年11月と近い値となり、有意差もなかった。2009年1月26日の調査ではボタンウキクサの栄養体のほとんどが枯死しており、群落の面積も急減していた。栄養体の平均直径は3.27cm、被度は18cmと共に調査期間中で最低の値を示した。減少程度は2007–2008年冬季よりも激しく、岸沿いのヨシの下にほんの数個体観察できる程度であった。



図6. 2008–2009年冬季 調査地点の様子



図7. 2009–2010年冬季 調査地点 C の様子

2009年の12月の調査では、ボタンウキクサの栄養体が木幡池北池の3分の1ほどを覆う程まで増加していた。調査地点C、Dではボタンウキクサは群落を形成していたが、調査地点A、Bでは群落は観察されなかった。このときの群落面積は例年に比べ小さかつたが、ボタンウキクサは生き生きとした生氣あふれる綺麗な緑色をしていた。しかし、ボタンウキクサは、2010年2月16日には寒さで枯死し完全に消えてしまい、1個体も発見できなかった。



図8. 2010–2011年冬季 木幡池北池で唯一の群落（左）と2010年12月のA地
点

2010年12月に直径1cm前後の栄養体が集まり非常に小さな群落を形成した。2010年は夏季でもボタンウキクサの繁殖は見られず、12月になってようやく群落を形成した。2011年1月の調査ではボタンウキクサの栄養体は枯死してしまい、1個体も発見できなかった。

2. 4 考察

ボタンウキクサは水温が12°Cあれば枯死せずに生育できる⁵。中央ヨーロッパのスロベニアの温泉が湧き温水が流れているトプラ川では、年中水温が17°Cを超えていたため、ボタンウキクサの栄養体が毎年越冬している⁶。このように温水が止まらなければボタンウキクサは越冬できるのだが、島根県簸川郡大社町のトンボ池では浄化センターからの処理水によりボタンウキクサは越冬していたが、浄化センターの処理水流入停止により、水温が8°Cまで低下し、ボタンウキクサの栄養体は枯死した⁷。これらのことから、温排水を意図的に停止すれば、ボタンウキクサの越冬と翌年の繁茂を阻止できるので、莫大な除去費用をかける必要もなくなると考えられる。

木幡池では、2007-2008年冬季は栄養体が越冬し、その年の夏季はボタンウキクサが大繁殖した。2008年-2009年の冬季は、2009年の1月の調査ではボタンウキクサの栄養体の多くが枯死しており、群落の面積も急減していた。2009年の12月の調査では、ボタンウキクサの栄養体が木幡池北池の3分の1ほどを覆っていた。しかし、ボタンウキクサ群落は、2010年2月16日には寒さで枯死し消えてしまい、2010年12月に小さな群落を形成したものの、2011年1月の調査ではボタンウキクサの栄養体は1個体も発見できなかった。これらの結果からボタンウキクサの栄養体は温排水の影響を受け冬季でも水温が高い木幡池 北池で越冬できることがわかった。しかし、近年木幡池北池におけるボタンウキクサの栄養体は激減している。これは、上流の家電工場からの温排水と大きく関係していると考えられる。越冬が確認された2008年は家電工場からの温排水の流入は正月三が日を含めて止まらなかった。ボタンウキクサの減少が激しかった2009年は1月1日から4日までの4日間工場の操業が止まり、温排水が流れていなかった。4日間の温排水の停止でボタンウキクサはかなり減った。ボタンウキクサが越冬できなかった2010年は温排水が最も寒い時期の2月9日から14日までの6日間も停止していた。温排水の流入がなくなり、北池が低水温になったためにボタンウキクサが枯死してしまったと考えられる。

この3年間の調査から、木幡池北池において冬季に温排水が止まらなければ多くのボタンウキクサの栄養体が越冬し、翌年の夏に池一面を覆うほどに増殖すると考えられる。また、温排水が冬季に止まった場合でも、1月に4日間のみ温排水が止まったなら大幅な栄養体の減少で済むが、最も寒い2月に6日間以上停止すればボタンウキクサは越冬できない。このことから、冬季に温排水を意図的に止めることで、ボタンウキクサの駆除を行える可能性が高い。

3. 冬季の水温と気温の経時的測定

ボタンウキクサは熱帯原産の植物であるため、日本の冬は越冬できないとされているが、工場等からの温排水があれば、日本でも越冬できると考えられる。木幡池でも定点観察調査によりボタンウキクサが越冬できることが確認されたが、具体的にどの程度の温度で越冬できるのか、どの部分の温度が越冬に影響するのかは報告されていない。

そこで、本調査では、冬季の水温と気温の経時的測定を行い、ボタンウキクサの越冬との温度の関係について報告する。

3. 1 調査方法

(温排水による越冬の調査)

ボタンウキクサの越冬と温度の関係を調べるために、2007年12月と2008年2月に木幡池の温度を計測した。計測は自動温度測定機「おんどとり」(TR-71U,T&D co.)を取り付けた発泡スチロールを水面に浮かべて測定した。調査地点は図9に示した。2007年12月に工場の温排水が直接流れ込む木幡池北池（地点①）と流れ込まない中池（地点②）の水温を計測し、同様にして2008年2月中旬に、北池（地点①）の水温及び気温を測定した。水温はボタンウキクサの生育に影響すると思われる水面より3cm下部を、気温は水面より5cm上部を測定した。気温の測定では、太陽光の影響を受けないように、半径約1cmの小さなアルミ箔の笠をつけた。

(微気象調査による越冬機構の解明)

ボタンウキクサの越冬と微気象温度の関係について調べるために、図9に示す木幡池北池（地点③）における2010年1月7日と最寒月である2月7日に3日間北池のボタンウキクサの葉の上部と下部の気温の違いを測定した。この地点は、温排水の影響で水温が非常に高くなってしまい、かつボタンウキクサが2009年12月に最もボタンウキクサが繁茂していた場所である。

計測は自動記録温度計「おんどとり」(TR-71U,T&D co.)を取り付けた発泡スチロールを水面に浮かべて測定した。気温・水温の測定間隔は、1月7日は30分間隔、2月7日は15分間隔とした。ボタンウキクサの栄養体当たり次の4ポイントを測定した。A 水面より2cm上方の大きな栄養体の葉に囲まれ温室空間になっているところの気温、B 水面より2cm上部の葉の上部の気温、C 水面より2cm上部の裸地気温、D 水面より3cm下部の水温。図10が実際に自動記録温度計を取り付けた発泡スチロールの写真であり、図11がその模式図、図12が実際に木幡池でボタンウキクサ同士が覆いかぶさりあっている写真である。

Aの葉の下の測定箇所は、上部から見た際に温度センサーが全く見えなくなるまで、栄養体の葉で覆った。Bの葉の上の測定箇所は、Aで測定した栄養体の葉と同じ葉の上の温度を測定した。Cの裸地の測定場所は、周囲に栄養体がない場所に設置した。また、太陽光の影響を受けないように、ABCに測定箇所の温度センサーには、半径約1cmの小さなアルミ箔の笠をつけた。さらに、ABCは水面に浮かべた発泡スチロールから約10cm程度遠ざけ、発泡スチロールに遮風される影響をなくした。Dの水温を測定するセンサーは水

面から同じ深さの水温を測定するために発泡スチロールの下に設置した。

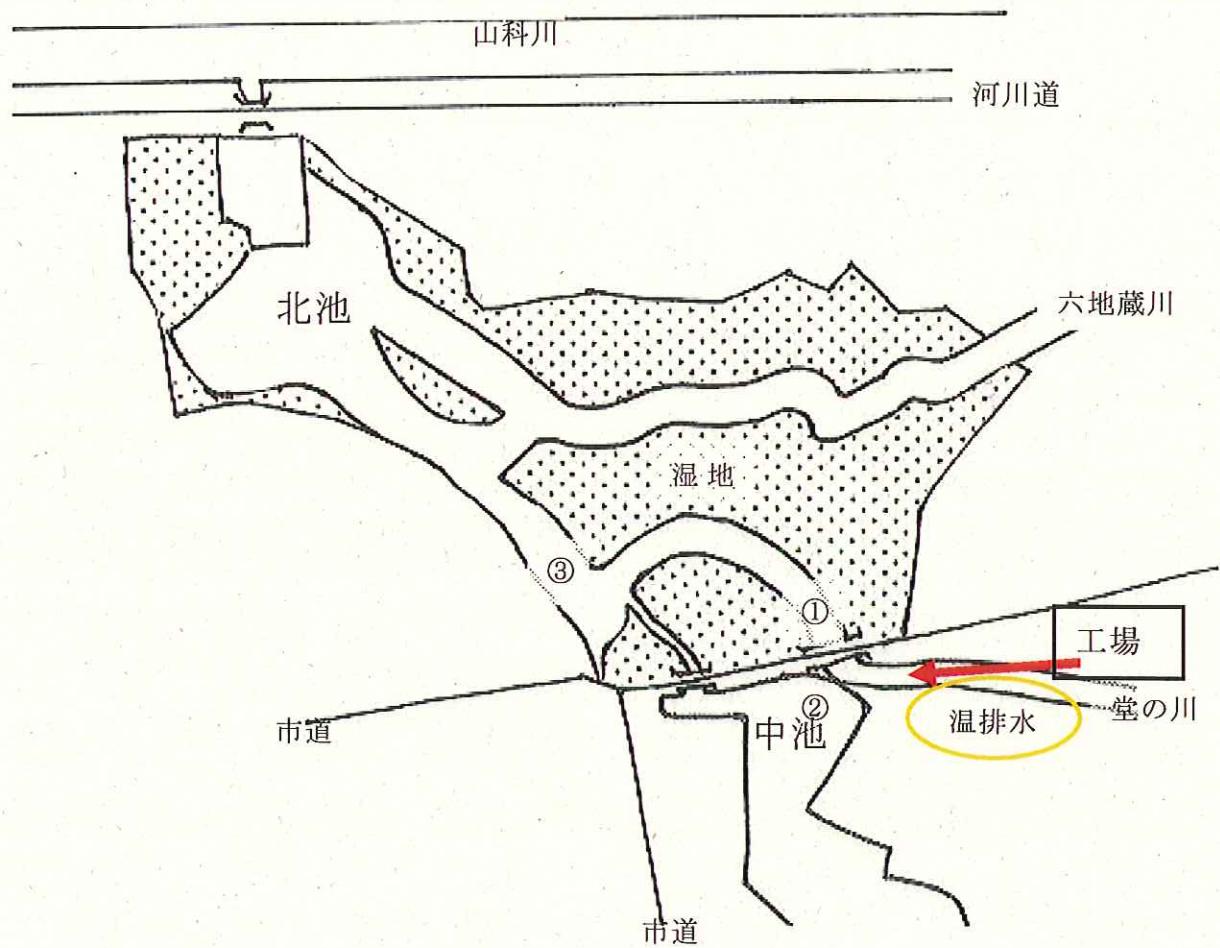


図9. 木幡池北池の温度測定地点

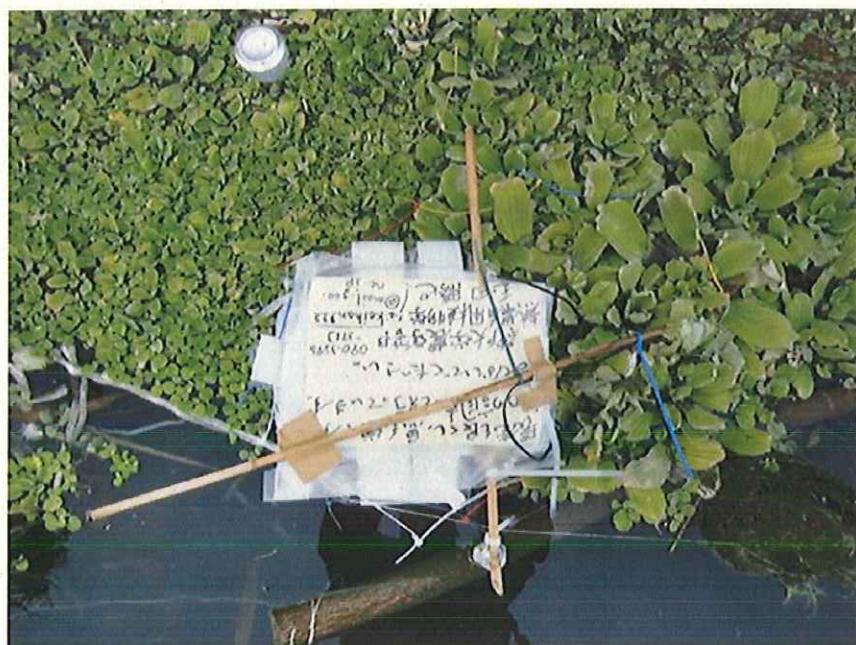


図10. 発泡スチロールに設置した自動記録温度計

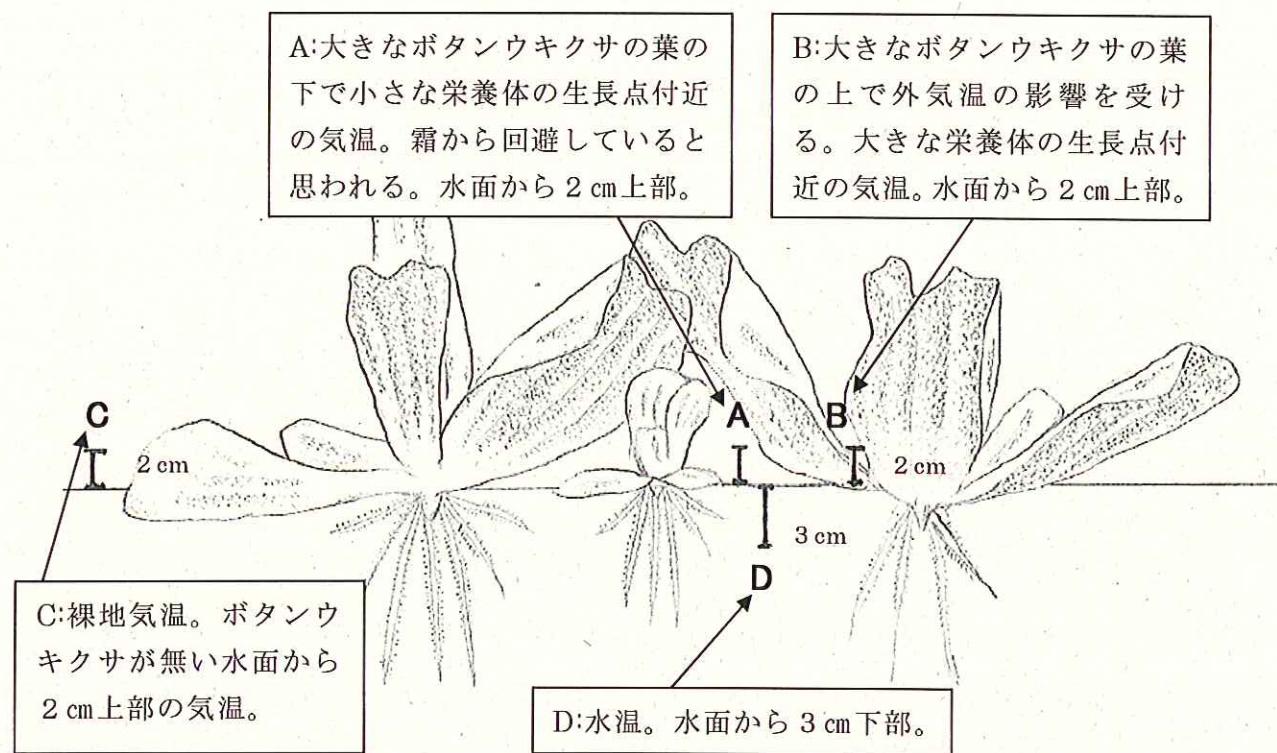


図 11. 温度測定箇所の模式図 A は葉に覆われ温室状になっている箇所、B は A と同じ葉の上部の外気温を測定している。



図 12. 覆いかぶさりあったボタンウキクサ 大きい葉の下のボタンウキクサは霜を回避していると思われる。

3. 2 結果

(温排水による越冬の調査)

図 13 に示すように、2007 年 12 月 30 日から 2008 年 1 月 11 日までの温排水が流れ込む北池の平均水温は 21.9°C、最低水温は 19.5°C であった。一方温排水が流れ込まない中池では、平均水温が 8.2°C、最低水温が 4.2°C であった。また 2008 年 2 月 14 日から 2 月 17 日までの北池の日平均気温は 5.7°C、最低気温は 0.7°C であったが、平均水温は 17.7°C、最低水温は 15.9°C であった（図 14）。

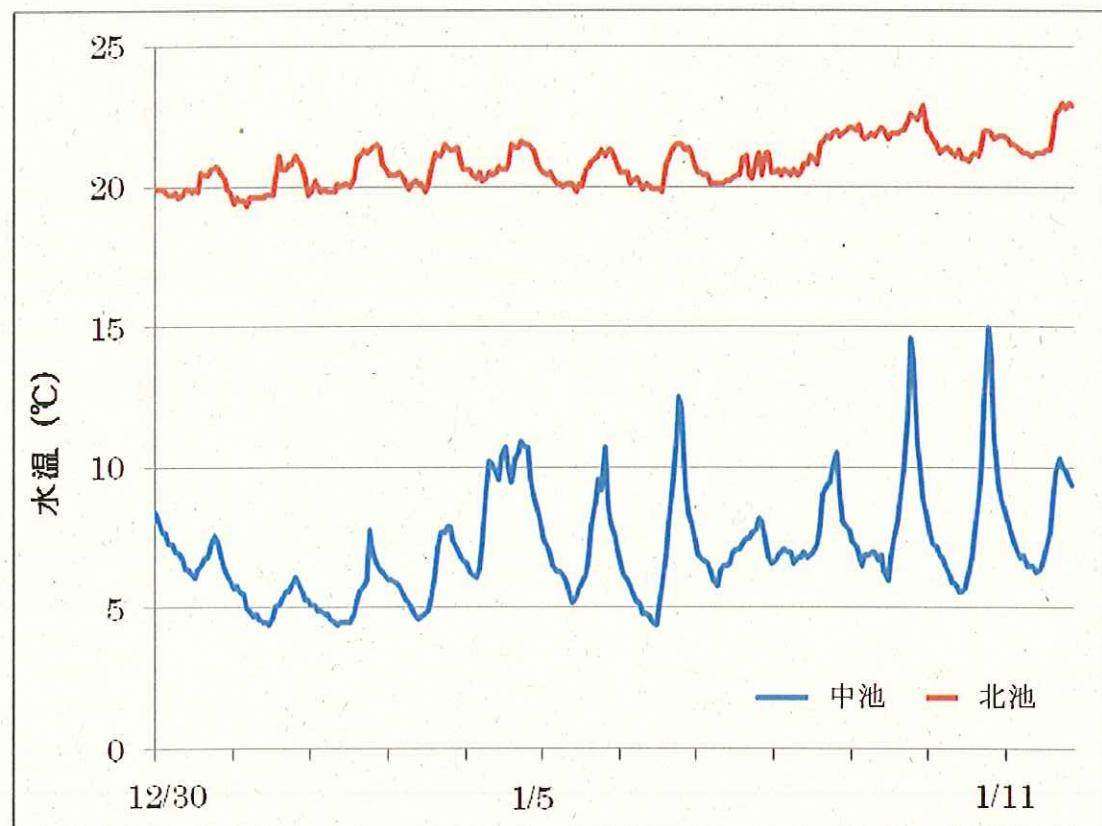


図 13. 温排水が流れ込む北池と流れ込まない中池の水温

（2007 年 12 月 30 日～1 月 11 日）

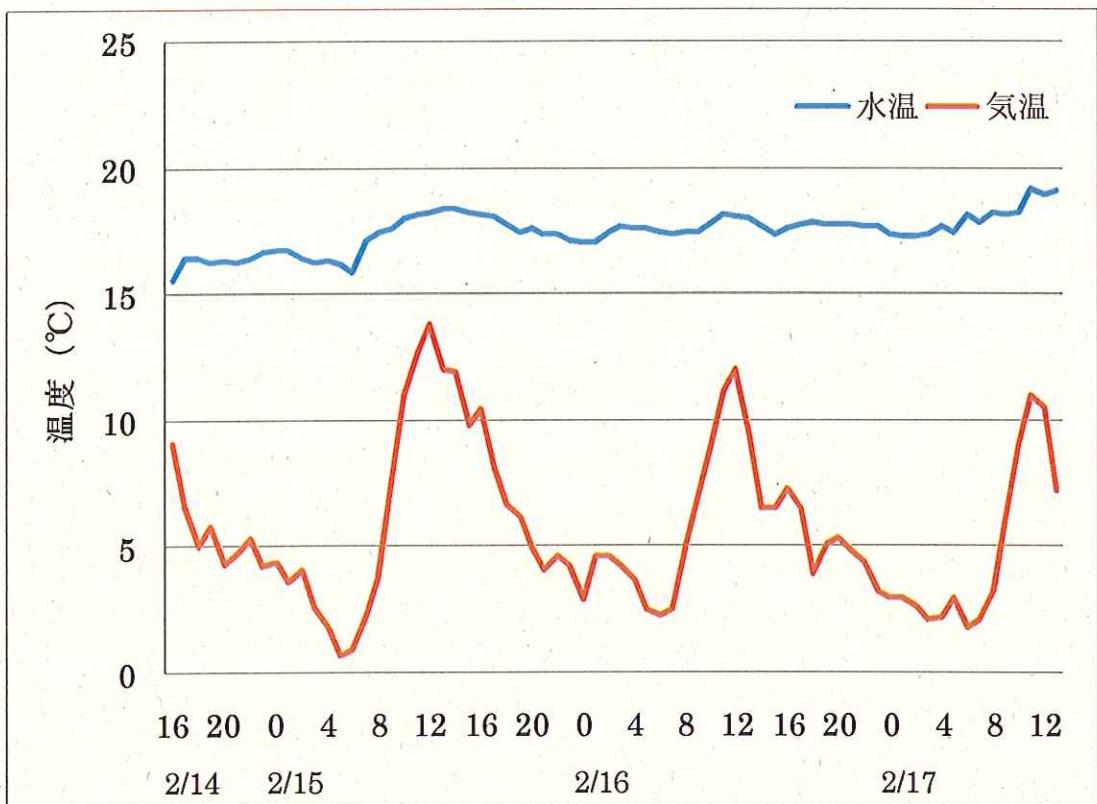


図 14. 木幡池の北池の水温と気温（2008年2月14日16時～17日13時）

（微気象調査による越冬機構の解明）

図 15 に示すように、2010年1月の7日0時～24時までの24時間の温度の推移は、北池のボタンウキクサでは、葉の下の最低気温は6時40分に10.2℃を示し、平均気温が12.8℃であった。比較して、葉の上の最低気温は6時40分に4.9℃を示し、平均気温は7.8℃であった。水温の最低気温は8時40分に17.6℃を示し、平均気温は18.9℃であった。裸地の最低気温は6時40分に4.7℃を示し、平均気温は7.5℃だった。

図 16 に示すように 2010 年 2 月の 7 日 0 時～24 時までの 24 時間の温度の推移は、北池のボタンウキクサでは、葉の下の最低気温は 3 時 52 分に 12.1℃ を示し、平均気温が 15℃ であった。比較して、葉の上の最低気温は 4 時 22 分に 4.2℃ を示し、平均気温は 7.7℃ であった。水温の最低気温は 5 時 22 分に 15.6℃ を示し、平均気温は 17.3℃ であった。裸地の最低気温は 4 時 30 分に 4.7℃ を示し、平均気温は 7.5℃ だった。

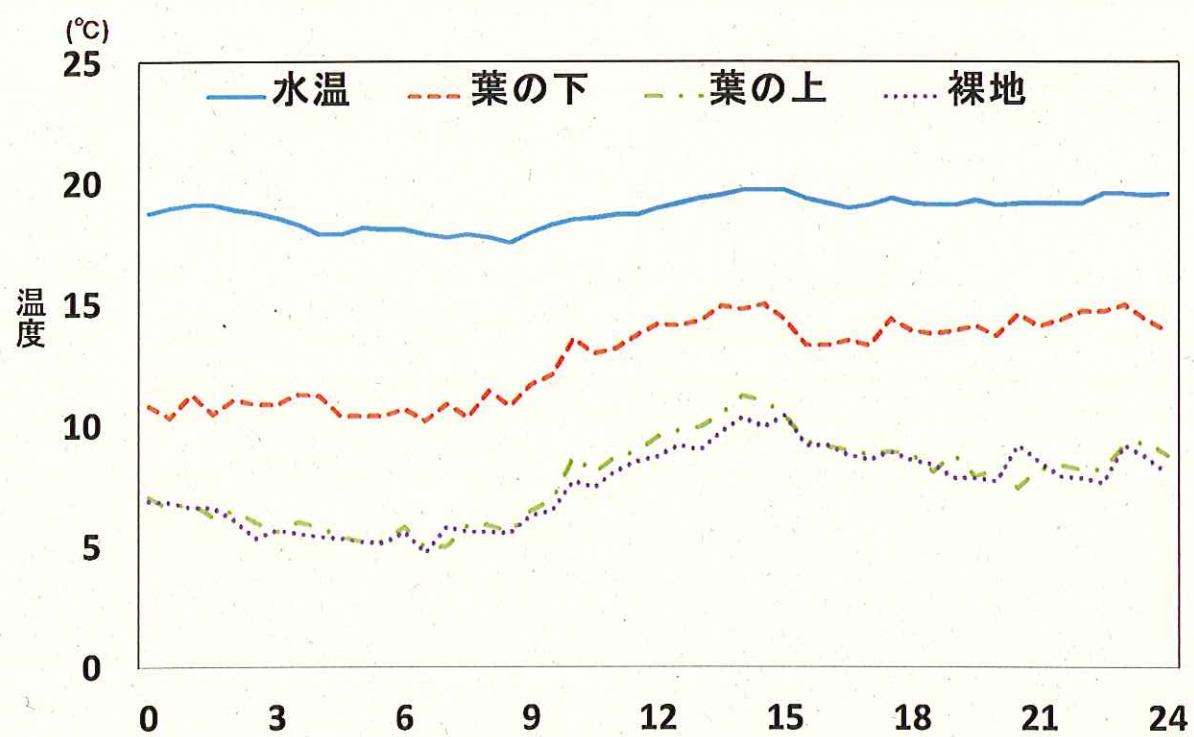


図 15. 木幡池北池の水温と気温 (2010年1月7日0時～1月7日24時)

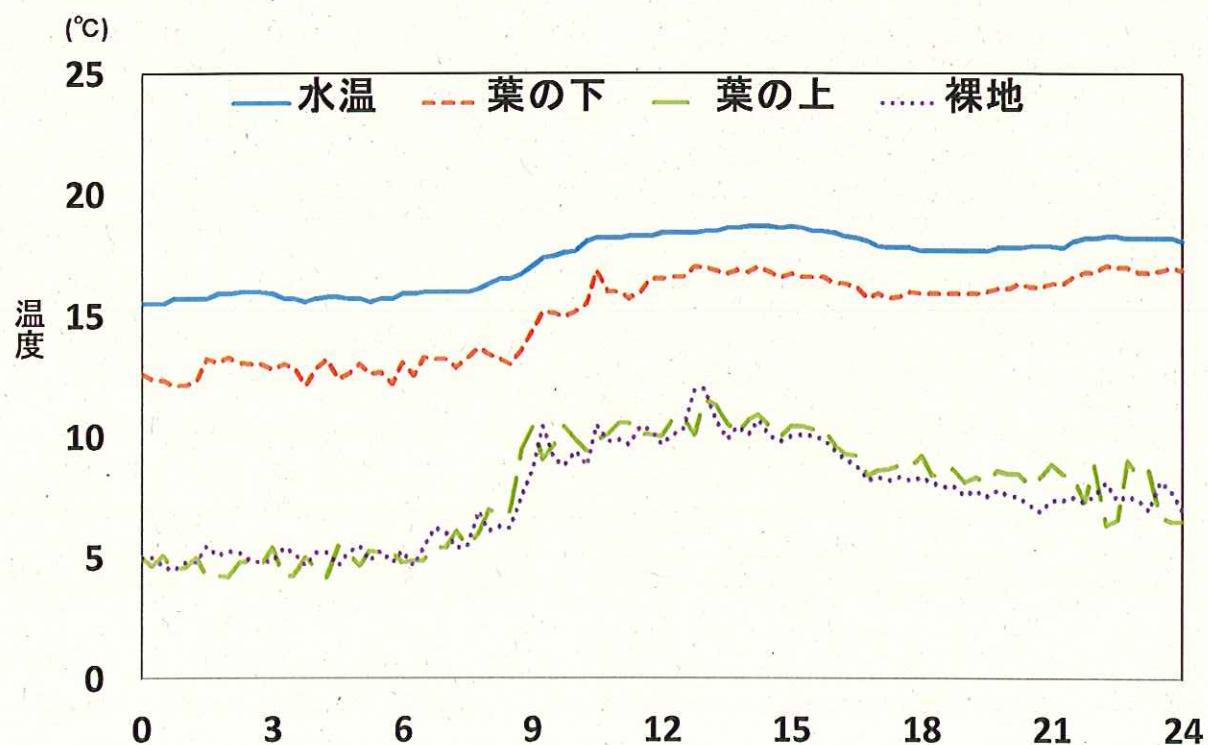


図 16. 木幡池北池の水温と気温 (2010年2月7日0時～2月7日24時)

3. 3 考察

2007年12月から2008年1月までの木幡池の北池と中池の水温を比較すると、平均水温21.9°C、最低水温19.5°Cの北池ではボタンウキクサの栄養体が多数越冬しているのが見られたが、平均水温8.2°C、最低水温4.2°Cの中池では越冬した個体は全く見られなかった。ボタンウキクサの栄養体にとって、平均水温8.2°C、最低水温4.2°Cは生存が難しい温度であろうと考えられる。

2008年の2月の木幡池北池の日平均気温が5.7°C、最低気温が0.7°Cまで低下したが、温排水が流入した結果として、平均水温は17.7°C、最低水温は15.9°Cであった。ボタンウキクサは水面下ではその高い水温のため越冬可能であるが、空中では水面より離れるにつれて気温の影響を受け、葉が先端から枯死する状況が見られた。その後、高い水温下にあっても、気温の低下と低気温に長く触れるにつれ、葉が徐々に外側に開き、大きい栄養体の葉の水面との角度が徐々に小さくなり水面と並行になった後に枯死した。しかしその下にあった、小さな栄養体は生き残っていた。このように高い水温下にあっても、越冬できる栄養体と、越冬できない栄養体があることが示され、これには低気温が影響している可能性が示唆された。

そこで、微気象調査を行った。2010年1月7日の北池のボタンウキクサでは、大きな栄養体の葉の上部の最低気温は10.2°Cと高く、平均気温が12.8°Cであった。比較して、葉の上の最低気温は4.9°Cと非常に低く、平均気温は7.8°Cであった。2010年2月の7日の北池のボタンウキクサでは、葉の下の最低気温は12.1°Cと高温を保っており、平均気温は15°Cと高かった。比較して、葉の上の最低気温は4.2°Cまで低下してしまっていた。

葉の下の気温が高いのは、高い水温によって暖められた空気が重なり合った葉の下を温室状態にしているためだと考えられる。大きな栄養体のロゼット葉の下に存在していた小さな栄養体は、大きなロゼット葉により霜を防ぐことができ、高い気温を保つことができたため、小さな栄養体の生長点が保温され、越冬できるのだと考えられる。

被覆物による越冬については、熱帯原産の外来水生植物のホティアオイでも報告されている。ホティアオイは温排水が流れていない場所でも越冬し、九州や四国地域では越冬可能な年が多く、中国、近畿、北陸地域では越冬不可能な年が多い⁸。しかし、越冬できる個体はごく少数であって、ほとんどの個体が冬季の寒さのため枯死する⁹。これは、局所的な環境条件の差異によって生存が左右され、同じ水系でも個体の上に被覆物があれば比較的越冬しやすく、越冬個体は、岸辺の草木の下などに存在する¹⁰。さらに、密生状態である場合は水面近くの温度が低下し難いためか寒害を受け難かった¹¹。

ボタンウキクサ栄養体の葉による温室条件下での越冬は、木幡池北池のように、ボタンウキクサが群落を形成し、密集している場所で当てはまると思われる。さらに、大きい個体が小さな個体にかぶさることにより、小さい個体は水中に沈んでいると考えられる。この状態では、高温である水温の影響をより受けていると思われる。冬季になり気温が低下するにつれて、他の栄養体に覆われず、低い気温に曝されている栄養体から枯れ始め、だんだん群落は減少するのだと考えられる。暖かい冬ならば群落の減少の速度が緩やかで越冬することができるが、非常に寒い冬ならば急速に群落が減少し越冬できないと思われる。

しかし、2010年2月7日に生残していたボタンウキクサは、微気象の調査を行った後

に、栄養体は越冬できずに、枯死してしまった。2010年は100年に一度といわれる不況で、工場の操業が2010年2月9日から14日まで止まっていたためであると考えられる。2010年も温排水が止まらなければ、高い水温と気温によって越冬していたと思われる。

4. 木幡池におけるシードバンクの有無と発芽能力の解明

ボタンウキクサはストロンと呼ばれる葡萄枝による栄養繁殖で急激に増殖することが知られている。一方で、種子による繁殖も併せて行い、生育に適しない環境では種子によって生存すると考えられている。我々の事前調査で、淀川城北ワンドでの埋土種子の発芽が観察され、栄養体が越冬できない環境でも、種子によって越冬していることを明らかにした。しかし、木幡池における埋土種子の発芽は観察されていない。

そこで、木幡池における埋土種子の有無を確認し、存在している場合には、その発芽能力を調査する。

4. 1 調査方法

生息地となっている場所において種子発芽を行っているかどうかを調べるために実際にボタンウキクサが生息している京都府宇治市木幡池から底質を採取した。底質は2010年2月21日に採取した。採取地点を図17に示した。地点は主に2009年12月時点でボタンウキクサが群落を形成しており種子が存在していると考えられる4地点を設けた。A地点は2010年1月ボタンウキクサ群落形成場所であり、有機物が多くヘドロを採取した。B地点は2010年1月ボタンウキクサの群落は見られなかつたが、群落を形成すると思われる場所であり、川底の粘土を採取した。C地点は2010年1月ボタンウキクサ群落形成場所であり、有機物が少なく湿地帯であった。川底の粘土を採取した。D地点は山科川へ水を送り出すポンプ場の前である。2010年2月ボタンウキクサが溜まっていた。水深が深く、川底にある土壌まで届かなかつた。ヘドロを採取した。

図18のように、試験は神戸大学農学部キャンパス内で行い、異常な高温を防ぐために草地で実施した。採取した底質は大きな有機物や石、ガラスなどと土砂を分けた。底質の採取量はA地点13kg、B地点20kg、C地点15kg、D地点8kgであった。それぞれ、全量大型バット(85×55×20cm)に入れた。バットには水道水のみを加え、水深を10cm前後に保つ。試験は1地点1バットとした。ボタンウキクサは発芽すると実生が水面に浮かんでくるため、水面に浮かんだ実生を埋土種子が発芽したものとみなした。また、水温と気温を自動記録温度計「おんどとり」(TR-71U)で測定した。

ボタンウキクサは光発芽種子である可能性が示唆されているため、毎月上旬に底質をかき混ぜた。また、夏季になり水温が上昇しても発芽実生が観察されなかつたため、C地点は2010年7月4日に乾燥を開始し、7月18日に代かきを行つた。A、B、D地点は2010年8月1日に乾燥を開始し、8月9日に代かきを行つた。図19に示すように、触ってバラバラになる程度にまで乾燥させた。底質は触ってもほぼ水気は感じられず、非常に硬く脆かつた。乾燥後、底質を碎き、水を入れ代掻きを行つた。

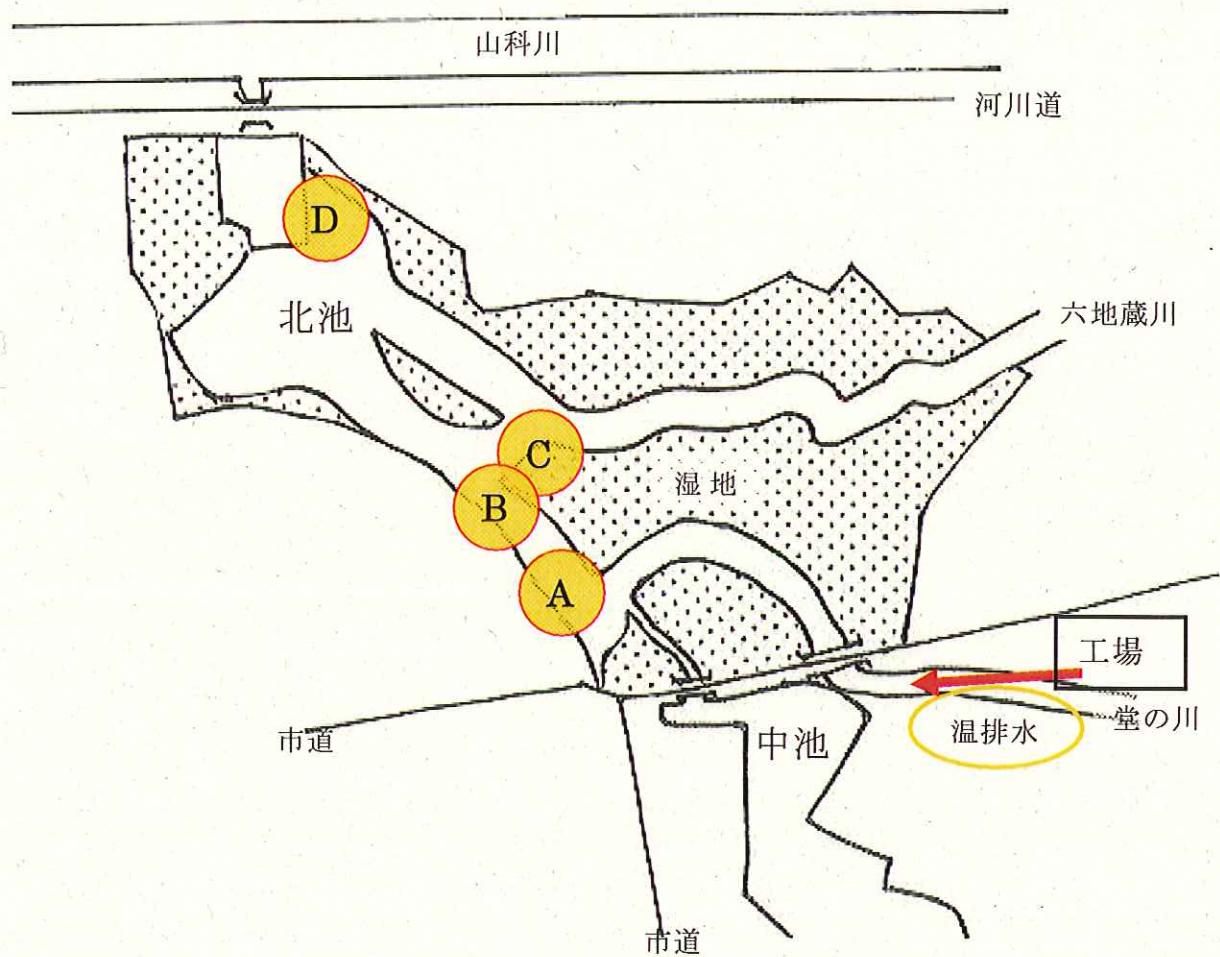


図 17. 木幡池北池の埋土種子調査地点



図 18. 発芽試験の様子



図 19. 地点 C 底質の乾燥

4. 2 結果

採集した底質 56kg をそのまま代掻きをし、温室で湛水環境を維持したところ、5ヶ月間経過してもボタンウキクサの発芽はまったくみられなかった。このため、その底質を乾燥後に代掻きをし、湛水環境を維持したところ、発芽実生を観察することができた。C 地点では、乾燥後代掻き後 1 週間の 7 月 25 日に最初の実生が見られた。A、B、C 地点は 8 月 9 日の代掻きを行い、A 地点は 8 月 14 日、B 地点は 8 月 12 日、D 地点は 8 月 13 日にそれぞれ初めて発芽実生を観察した。

埋土種子の発芽数を表 1 に示した。最終的な発芽数は A 地点で 1 個、B 地点で 2 個、C 地点で 23 個、D 地点で 4 個であった。最も発芽数が多かった C 地点の、初回発芽日は、代掻き後 7 日目の 7 月 25 日であった。また、半数が発芽したのは代掻き後 9 日目の 7 月 27 日であった。C 地点の代掻きから初回発芽までの日平均水温は 28.8°C であった。A、B、D の代掻きから発芽までの日平均水温は 3 地点とも 29.2°C であった。

7 月の日平均気温は 27.6°C、日最高気温は 32.3°C、日最低気温は 24.4°C であり、日平均水温は 27.1°C、日最高水温は 33.0°C、日最低水温は 24.0°C だった。8 月の日平均気温は 30.7°C、日最高気温は 38.7°C、日最低気温は 26.3°C であり、日平均水温は 29.1°C、日最高水温は 35.6°C、日最低水温は 25.8°C だった。

表 1. ボタンウキクサの埋土種子の発芽数

	A	B	C	D
総発芽数	1	2	23	4

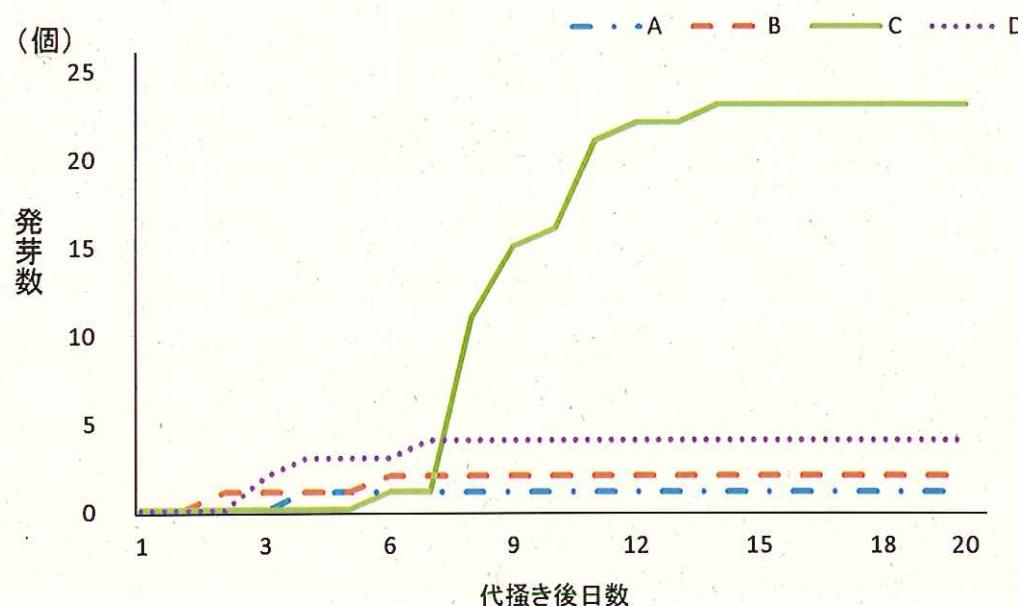


図 20. 代掻き後の各地点の発芽数の推移

4. 3 考察

シードバンク調査では合計 56kg の底質に 30 粒もの発芽実生を観察した。特に、地点 C では 15kg の底質から 23 粒の実生がみられた。一方で、A 地点では 13kg 中に 1 粒、B 地点では 20kg 中に 2 粒、D 地点では 8kg 中に 4 粒しか観察できず、調査地によって非常にばらつきが大きかった。A、B、D 地点の水底は田植え靴等を履けば歩くことができるほど比較的硬い砂・粘土質の土壤であるが、その上を厚いヘドロの層が覆っている。ボタンウキクサの種子は親個体から放出された後にヘドロの層を通り抜け、水底に落下していると思われる。これらの地点では厚い上部のヘドロ層のために、ボタンウキクサの種子が存在していると思われる下層の土壤の層を採取することができなかったことが、発芽種子が少ない原因の一つであると思われる。一方で、C 地点は湿地帯であり、ヘドロではなく土壤が気中に露出していた。C 地点で多量の発芽種子が見られたのは、種子が豊富に含まれる土壤を採取できたことが原因だろう。

採集した底質 56kg をそのまま代掻きをし、温室で湛水環境を維持したところ、5 ヶ月間経過してもボタンウキクサの発芽はまったくみられなかつたが、その底質を乾燥後に代掻きをし、湛水環境を維持したところ、30 粒の発芽が見られた。このことから、ボタンウキクサの種子の発芽には乾燥の過程が必要であると思われる。

木幡池にはボタンウキクサの巨大なシードバンクが存在すると思われるが、ボタンウキクサが越冬できなかつた 2009–2010 年冬季とその後、夏季を過ぎてからもほとんどボタンウキクサが群落を形成する様子は見られなかつた。温排水が冬季に停止する条件では種子のみによる大量繁殖は困難であると考えられる。しかし、今後工場が連続操業し、温排水が停止しなければ、種子由来のボタンウキクサが越冬し、再びボタンウキクサが木幡池で大繁殖する可能性は高い。

5. 木幡池と類似環境の比較 ー熊本県江津湖のボタンウキクサー

ボタンウキクサは木幡池では2010年に越冬した栄養体を観察できず、同年夏季、翌2011年にもボタンウキクサの栄養体を発見することはできなかった。これは、温排水が冬季に停止したため、水温が低下し枯死してしまったからであった。温排水が停止しなければ、ボタンウキクサは枯死しなかっただろう。そして、木幡池では巨大なシードバンクが存在していることを確認したので、今後、工場が連續操業し、温排水が停止しなければ、ふたたびボタンウキクサが木幡池で大繁殖する可能性は高い。そこで、さらに多くの知見を集め、木幡池で再び大繁殖する可能性を検証するために実際に冬季に温水が流入し続ける環境を調査することとした。

現在もなおボタンウキクサが越冬と繁殖を続けていたる熊本県江津湖において、冬季の生残と水温を調査し、木幡池の場合と比較した。この湖は阿蘇の火山の湧水が當時流入しているところである。

5. 1 調査地

調査地は、熊本県熊本市の江津湖（面積約50ha、北緯32度46分、東経130度44分）である。江津湖・加勢川水系は阿蘇山麓台地の末端、江津湖は熊本平野北部にあり、熊本市街地の東部に位置し、県下で有数の湧水群を形成している。湖水の大部分は水前寺、砂取および神水の湧水、それに藻器掘川および健軍川の流水が注ぎ込んでできた膨張湖である。江津湖は上江津湖と下江津湖にわかれ、ひょうたん型をしている。それぞれの湖は河川によって繋がっており、上江津湖から下江津湖に流れ込んでいる。加勢川は下江津湖から流れ出し西流し、下江津湖から約12km下流で緑川と合流し、有明海に注ぎこんでいる。

江津湖には阿蘇山の伏流水である湧水が1日約40万トン湧き出ている。この湧水は水温が高く、そのため江津湖は冬季も暖かく、おかげで多様な生態系を維持している。江津湖には多様な植物種がみられ、1995年の調査では321種、2004年の調査では350種の植物が確認されている。江津湖では希少な在来の水生植物が見られ、沈水植物のヒラモ *Vallisneria asiatica* var. *higoensis* も非常に多く繁殖している。その他、ササバモ *Potamogeton malaianus*、エビモ *Potamogeton crispus*、ヤナギモ *Potamogeton oxyphyllus* 等も見られる。しかし、上江津湖・下江津湖ともに優占しているのは帰化植物であり、水面にはボタンウキクサが優占しており、オオフサモ、ブラジルチドメグサ *Hydrocotyle ranunculoides*、ホティアオイの群落も観察される。水中では、オオカナダモ *Egeria densa* が優占している。

5. 2 調査方法

(阿蘇山からの伏流水が湧きだす熊本県江津湖における定点観察調査)

定点観察地点を図 21 のように 4 地点設けた。調査地点を挟み込むように、それぞれ反対側の 2 箇所から写真撮影を行った。写真撮影は、2011 年 12 月と 2012 年 2 月の 2 回行い、冬季のボタンウキクサを観察した。

また、越冬した A、B、C 地点のボタンウキクサの葉数、直径、水面からの高さの調査を行った。調査は、2012 年 2 月 20 日に行った。直径と水面からの高さは定規を葉にあてて測定した。ストロンが切り離されていると確認できた水面に浮いているボタンウキクサを真上から見下ろしたときに最も長い箇所を直径とした。2012 年 2 月 20 日にその地点に存在していた個体を、その地点で越冬したものとみなした。

以下に地点ごとの詳細を記述する。

地点 A：水前寺公園からの湧水が上江津湖に流れ込む地点で、湧き出してから外気温に触れる時間が短いため水温が高いと思われる。また、観測地点から 4 m 程のところに湧き水地点があり、ボタンウキクサが越冬すると考えられる。

地点 B：ポート屋 ポート置き場付近のボタンウキクサの群落である。周囲から湧水が湧いていると言われており、水温が高くなっていると考えられる場所である。水量は多くなく、湖水は停滞しており、外気温の影響を大きく受けていると考えられる。

地点 C：下江津湖でボタンウキクサが繁茂するが、湧き水が湧き出す場所より遠く離れ、さらに湖水は停滞しているため気温の影響を大きく受けていると考えられる。ボタンウキクサは冬季の寒さで枯死すると思われる。

地点 D：下江津湖で湧き水が湧き出している地点である。ボタンウキクサが越冬すると考えられる。しかし、2012 年冬季に熊本市によりボタンウキクサの駆除が行われた。自動記録温度計による冬季の水温・気温の調査では、湧水に直接自動記録温度計のセンサーが触れるように設置し、2011 年 12 月～2012 年 2 月の熊本県江津湖の湧水の水温とした。

(自動記録温度計による冬季の水温・気温の調査)

定点観察を行ったのと同じ地点を調査地点とした。熊本県江津湖でのボタンウキクサの越冬温度を調査するために、自動温度測定機「おんどとり」(TR-71U,T&D co.) を用いて、2011 年 12 月 25 日～2012 年 2 月 20 日の 4 地点の気温と水温を測定した。D 地点のみ、付近で湧き出している湧水の水温を測定した。水温はボタンウキクサの生育に影響すると思われる水面より 3 cm 下部を、気温は水面より 5 cm 上部を測定した。気温の測定では、太陽光の影響を受けないように、センサー部に半径約 1cm の小さなアルミ箔の笠をつけた。

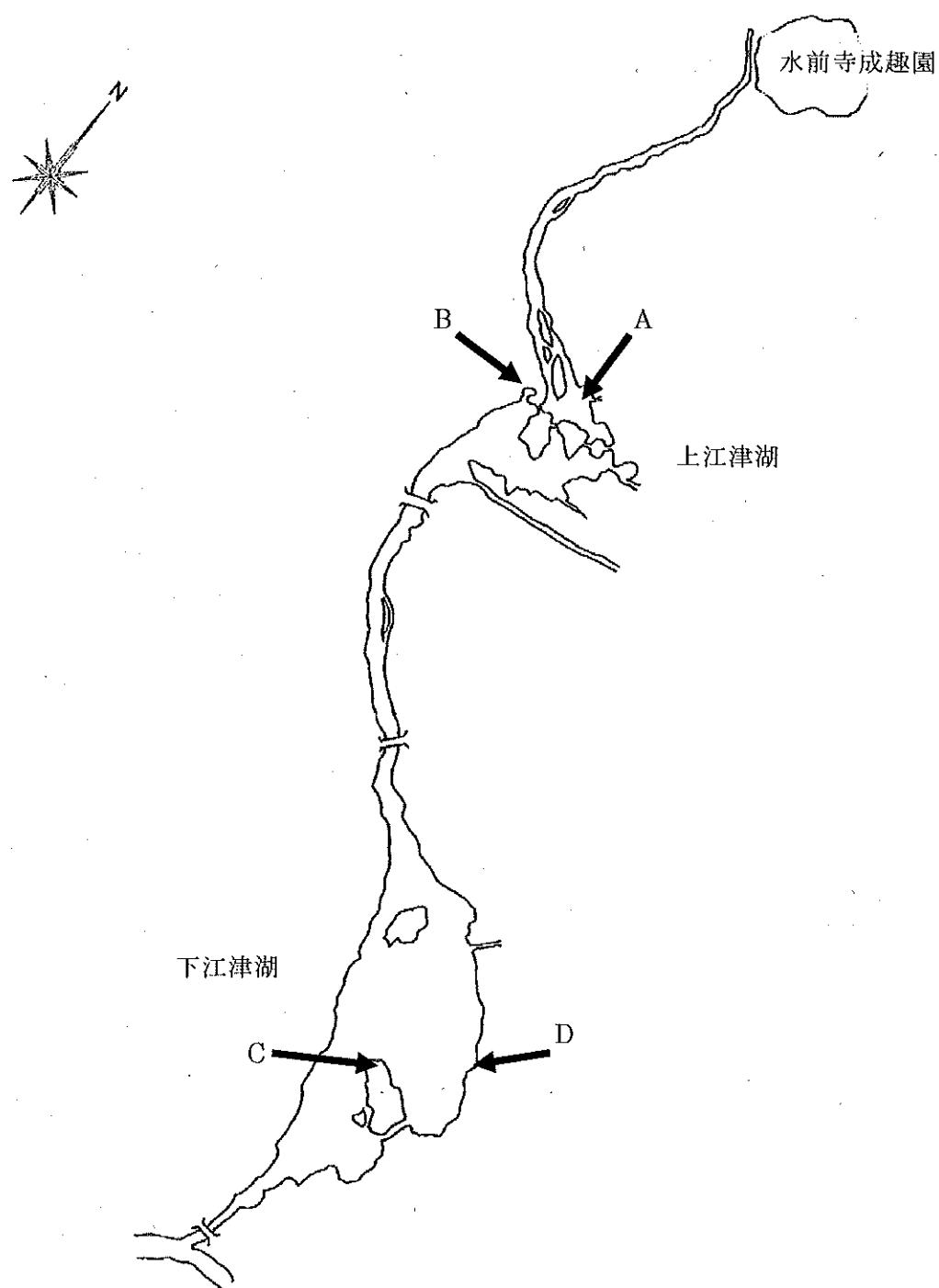


図 21. 江津湖全体像 地図の北側が上流であり、水前寺成趣園から流れ出し上江津湖から下江津湖に流れる。水源は主に湧き水で、いたるところで湧き出ており把握は難しい。水前寺成趣園や上江津湖で豊富に湧き出ているため、上江津湖では水温が高く、下流の下江津湖は外気温の影響を大きく受け、水温は低下していると思われる。

5. 3 結果

(調査地点Aの定点観察)

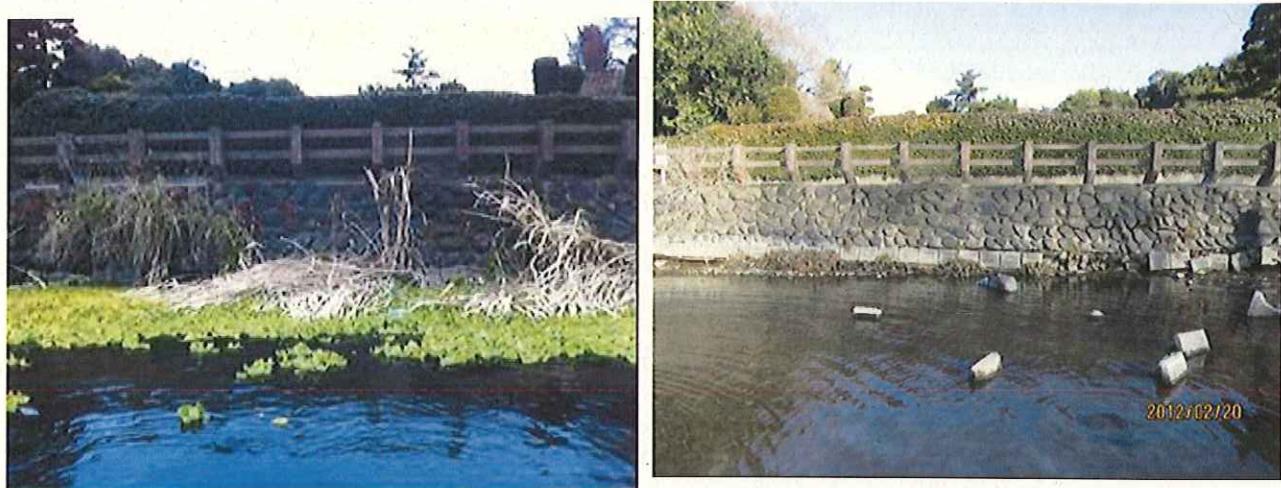


図 22. 調査地点 A の様子 (左 : 2011 年 12 月 24 日 右 : 2012 年 2 月 20 日)



図 23. 2012 年 2 月 調査地点 A で積まれた石の間で越冬したボタンウキクサ

地点 A ではボタンウキクサが越冬した (図 23)。図 22 のように、2011 年 12 月には青々として生気にあふれるボタンウキクサが見られ、大きさも 20~40cm と一般的に湖沼で繁殖するものとほとんど同じ大きさであった。12 月では特に植物体が枯死している様子はなく、湖の縁沿いに群落を形成していた。

2012 年の 2 月上旬にこの地点でボタンウキクサの駆除作業が行われ、2012 年 2 月 20 日には群落を形成していたボタンウキクサはほぼ消失していた。しかし、この地点の岩陰の隙間に駆除作業から逃れ、越冬した個体が見られた。越冬した個体の中で最大の直径は 19.3cm、平均直径は 9.29cm であった。水面からの高さも、最高で 5.8cm、平均は 2.22cm と、非常にきれいな黄緑色をしており、葉も生き生きとした個体ばかりであった。

(調査地点 B の定点観察)



図 24. 調査地点 B の様子（2011 年 12 月 24 日）

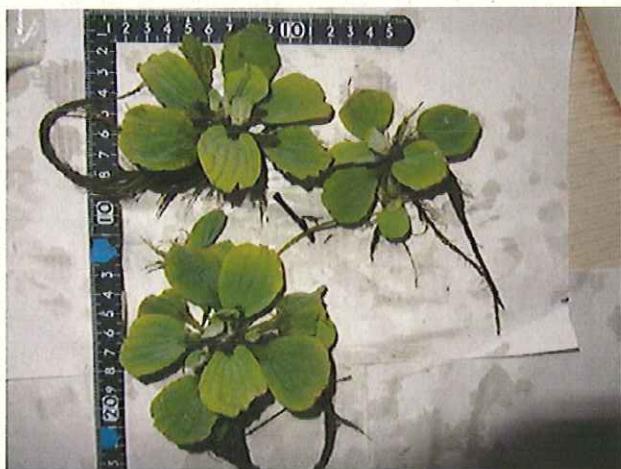


図 25. 調査地点 B で越冬したボタンウキクサ

地点 B ではボタンウキクサが越冬した（図 25）。図 24 のように、2011 年 12 月には A 地点と同様に青々として生氣あふれるボタンウキクサが見られ、大きさも変わらなかった。

この地点ではボタンウキクサの駆除作業は行われず、2012 年 2 月には、水面に越冬している栄養体が数個体見られた。越冬した個体の中で最大の直径は 16.3cm、平均直径は 9.85cm であった。水面からの高さも、最高で 4.6cm、平均は 2.54cm であった。越冬した個体は枯死こそしていなかったが、葉に生気がなく、暗い緑色をしていた。

(地点 C の定点観察)



図 26. 調査地点 C の様子 (左 : 2011 年 12 月 23 日撮影 右 : 2012 年 2 月 23 日撮影)



図 27. 調査地点 C における群落形成植物の変化 (左 : 2011 年 12 月 23 日撮影 右 : 2012 年 2 月 23 日撮影)

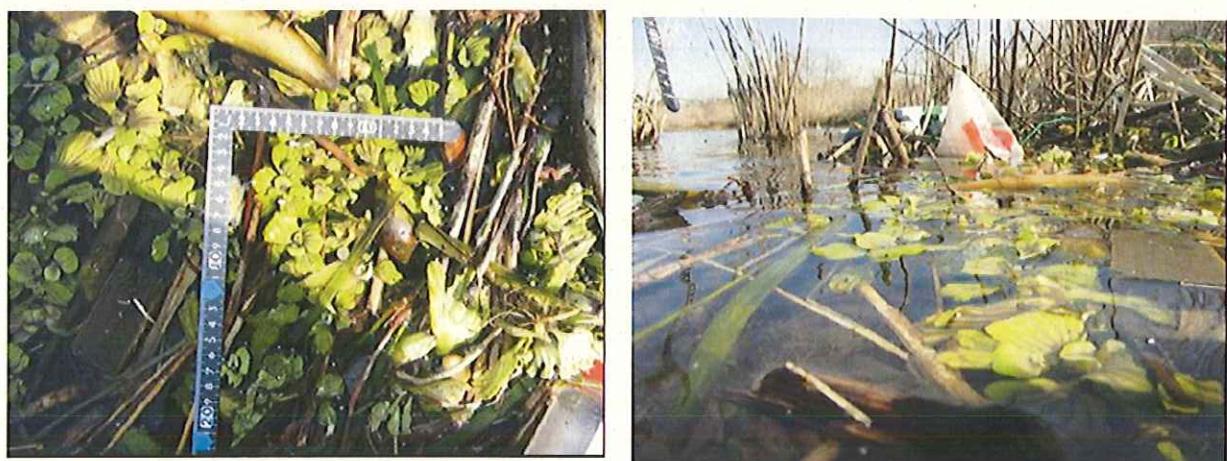


図 28. 調査地点 C で越冬したボタンウキクサ (2012 年 2 月 23 日撮影)

地点 C ではボタンウキクサが越冬した (図 26、28)。2011 年 12 月には青々として生氣にあふれるボタンウキクサが見られ、大きさも 20~40cm と一般的に湖沼で繁殖するものとほとんど同じ大きさであった。12 月では特に植物体が枯死している様子はなく、湖の縁沿いに群落を形成していた。

2012年2月の調査では、ボタンウキクサはヨシが覆いかぶさった湖岸に数十個体越冬しているにすぎなかった。越冬した個体の中で最大の直径は9.1cm、平均直径は6.32cmであった。水面からの高さも、最高で1cm、平均は0.31cmであり、植物体は生気を失って縮れていた。個体の多くが生存しながらも、ほぼ植物全体を水中に沈ませていた。

図27では、2011年の写真ではボタンウキクサの群落にブラジルチドメグサが多少観察されたが、2012年2月の写真の群落はほぼ全てがブラジルチドメグサによって構成されている。

2011年12月の時点ではボタンウキクサによって大きな群落を形成していたが、2012年2月になるとブラジルチドメグサの群落にとってかわられていた。

(地点Dの定点観察)



図29. 調査地点Dの様子（左：2011年12月23日撮影 右：2012年2月20日撮影）

下江津湖で湧水が流れ込む地点である。この地点は2011年10月時点ではボタンウキクサが大きな群落を形成していたが、2011年12月までに機械によるボタンウキクサの駆除が行われたため、ボタンウキクサの群落は見られなかった（図29）。その後も、ボタンウキクサ群落が回復する様子は見られなかった。この地点の水温は湧水の水温を直接センサーで測定した。

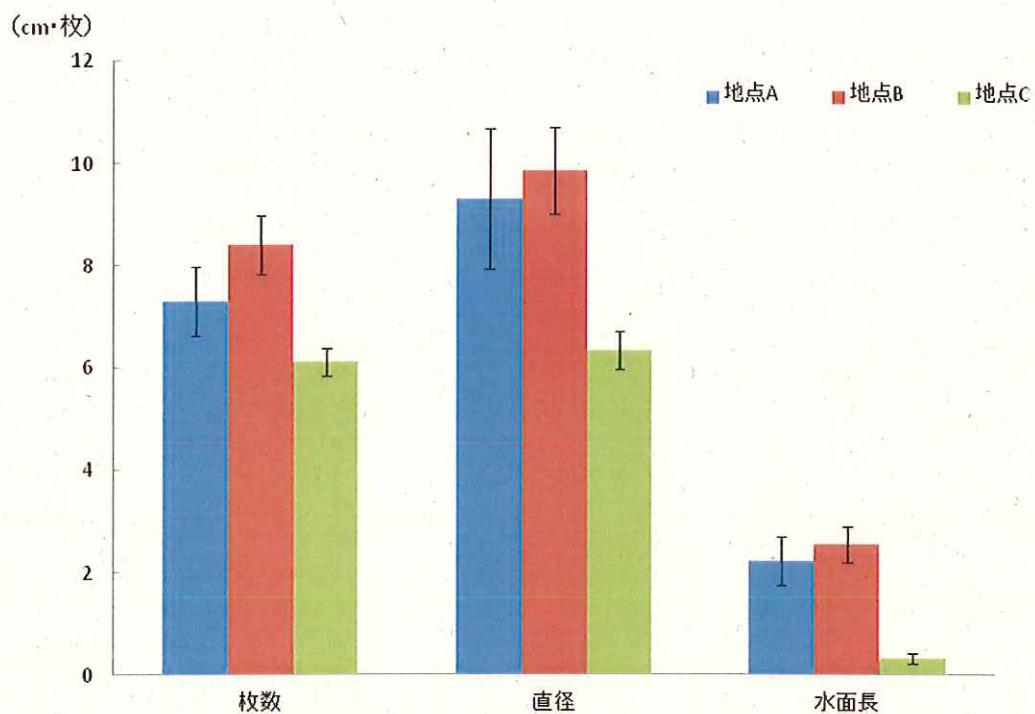


図 30. 2012 年 2 月 20 日 地点 A、B、C 地点のボタンウキクサの葉の枚数、直径と水面長

図 30 から、葉の枚数の平均は、A 地点で 7.3 枚、B 地点で 8.4 枚、C 地点で 6.1 枚だった。葉の枚数が最多だったのは、A 地点の 12 枚で、次に B 地点の 11 枚だった。C 地点での葉の枚数が最多は 8 枚であった。

栄養体の直径の平均は、A 地点が 9.2cm、B 地点が 9.85cm、C 地点が 6.32cm だった。直径が最も長かった個体は、A 地点の 19.3cm のものであり、次に B 地点での 16.3cm だった。C 地点で最も大きかった個体でも直径は 9.1cm しかなかった。

自然状態での水面からの最も高かった葉の長さを測定したところ、平均は A 地点が 2.22cm、B 地点が 2.54cm、C 地点が 0.31cm であった。最も水面からの長さが高かった個体は A 地点の 5.8cm で、次に B 地点の 4.6cm だった。C 地点では最も高かった個体でも 1cm しかなく、ほとんどの栄養体は水中に沈み、葉の一部だけが水面に出ている程度だった。



図 31. 左 : A 地点で越冬したボタンウキクサ 右 : C 地点で越冬したボタンウキクサ
(2012 年 2 月 20 日撮影)

(ボタンウキクサの江津湖における越冬温度の調査)

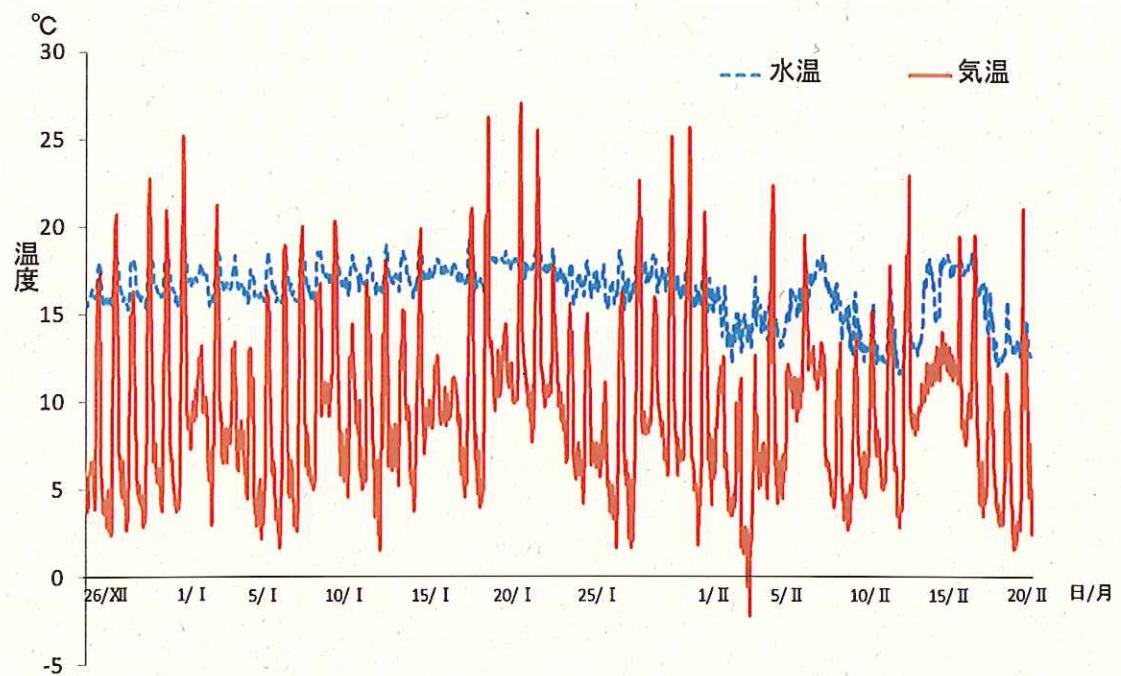


図 32. A 地点の 12 月 25 日から 2 月 20 日の水温と気温

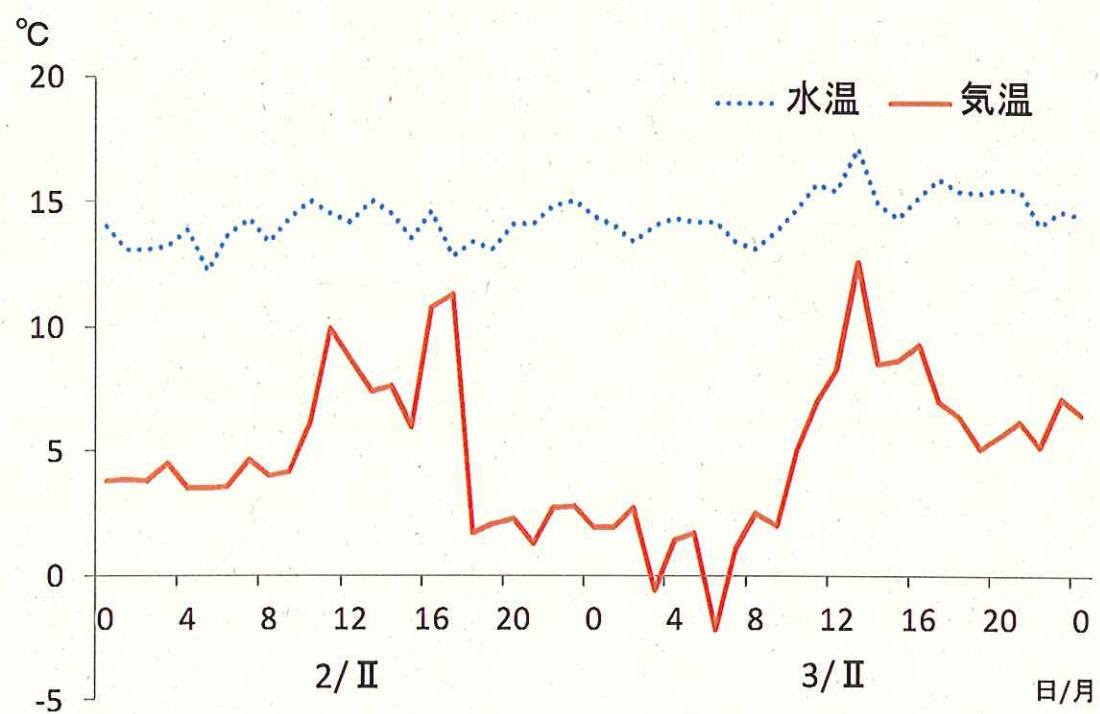


図 33. A 地点の 2012 年 2 月 2 日 0 時—2 月 3 日 24 時の水温と気温

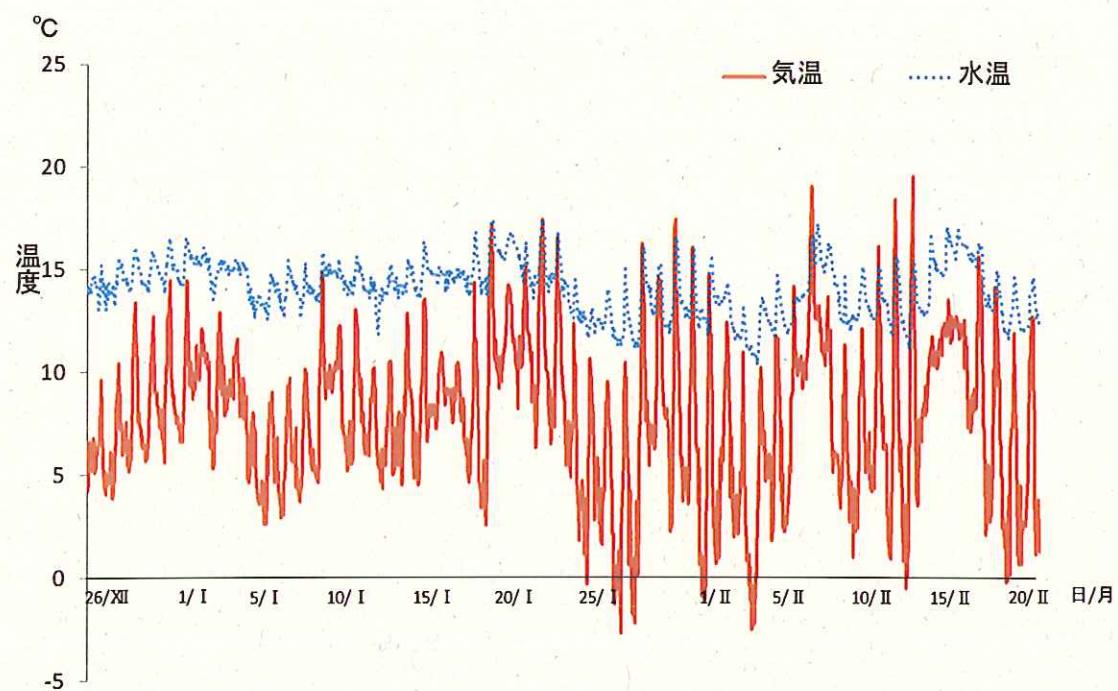


図 34. B 地点の 12 月 25 日から 2 月 20 日の水温と気温

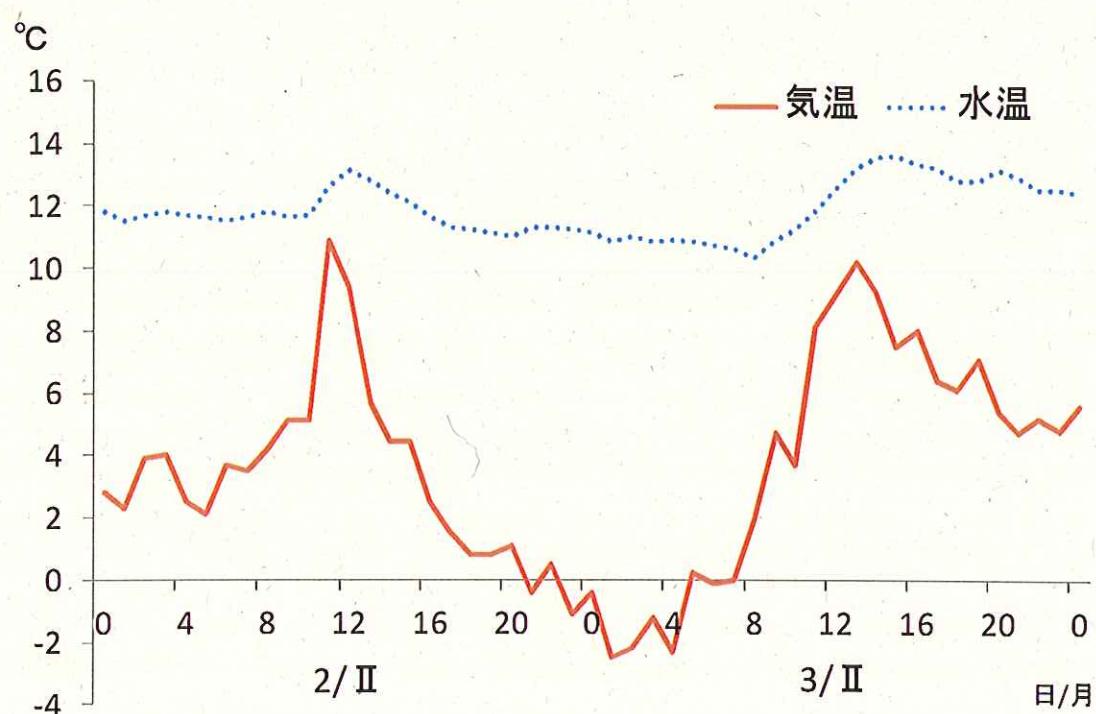


図 35. B 地点の 2012 年 2 月 2 日 0 時—2 月 3 日 24 時の水温と気温

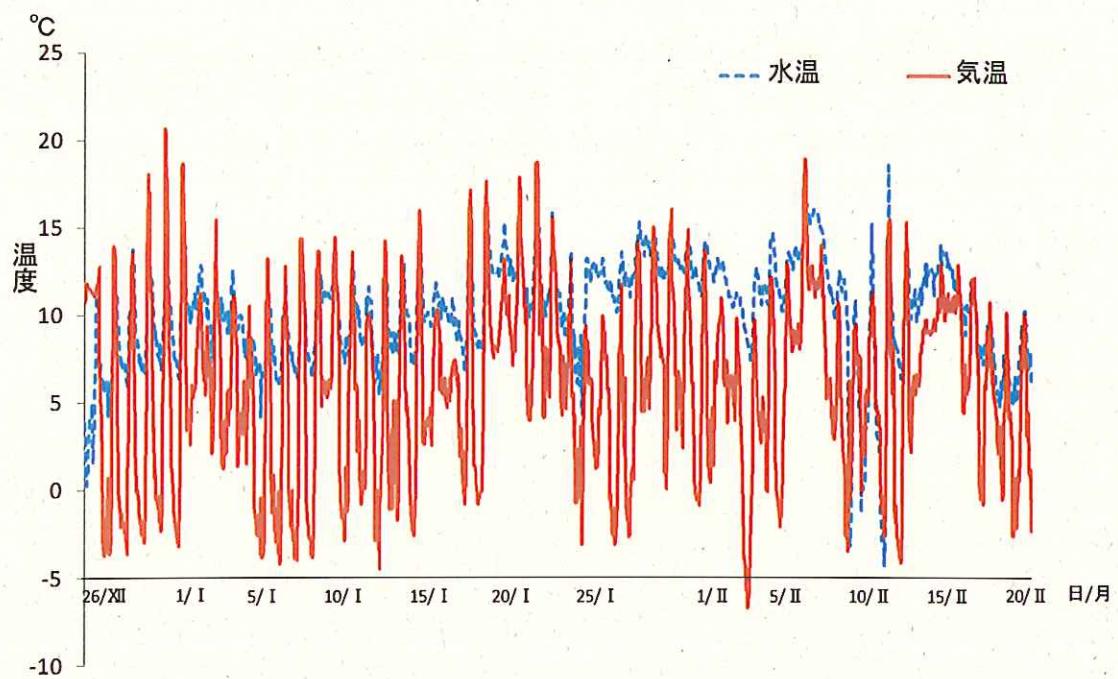


図 36. 12月25日0時—2月20日24時のC地点における水温と気温

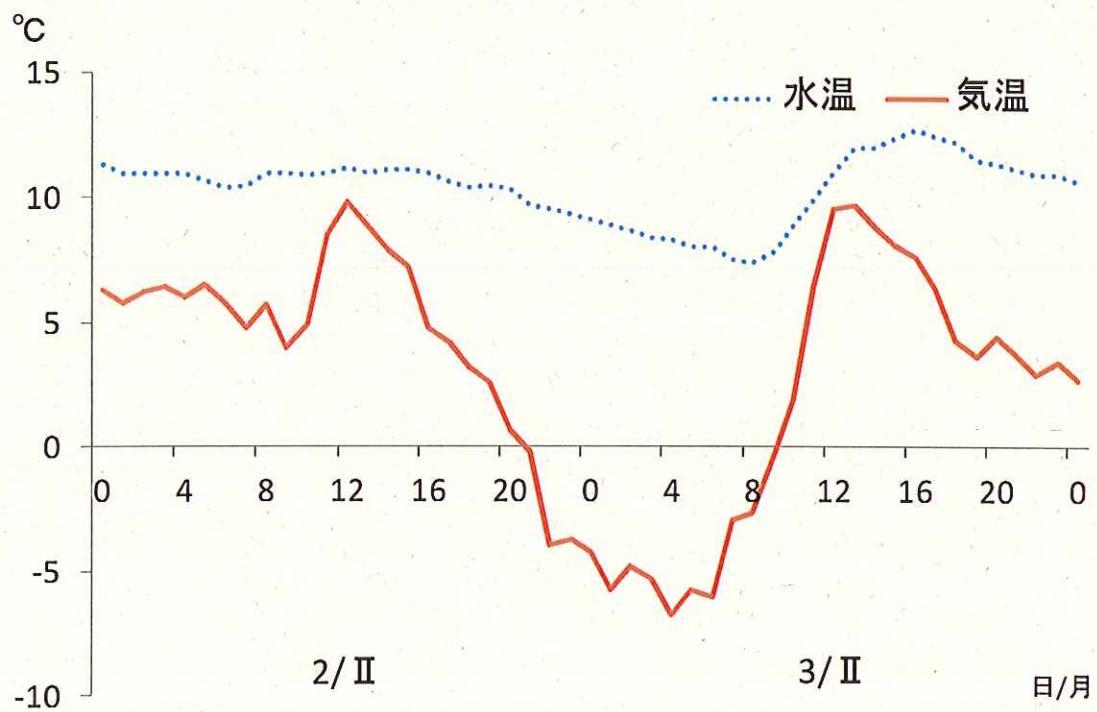


図 37. C地点の2012年2月2日0時—2月3日24時の水温と気温

図 32 に示すように、A 地点の 2011 年 12 月 25 日～2012 年 2 月 20 日で、最低気温は -2.2°C (2月3日6時) まで低下したが、最低水温は 12.2°C (2月2日5時) だった (図 33)。図 34 に示したように、B 地点の 2011 年 12 月 25 日～2012 年 2 月 20 日で、最低気

温は -2.5°C （2月3日1時）を示したが、最低水温は 10.3°C （2月3日8時）と高かつた（図35）。図36に示したように、C地点の2011年12月25日～2012年2月20日で、最低気温は -6.7°C （2月3日4時）を示したが、最低水温は 7.4°C （2月3日8時）程度までしか低下していなかった（図37）。

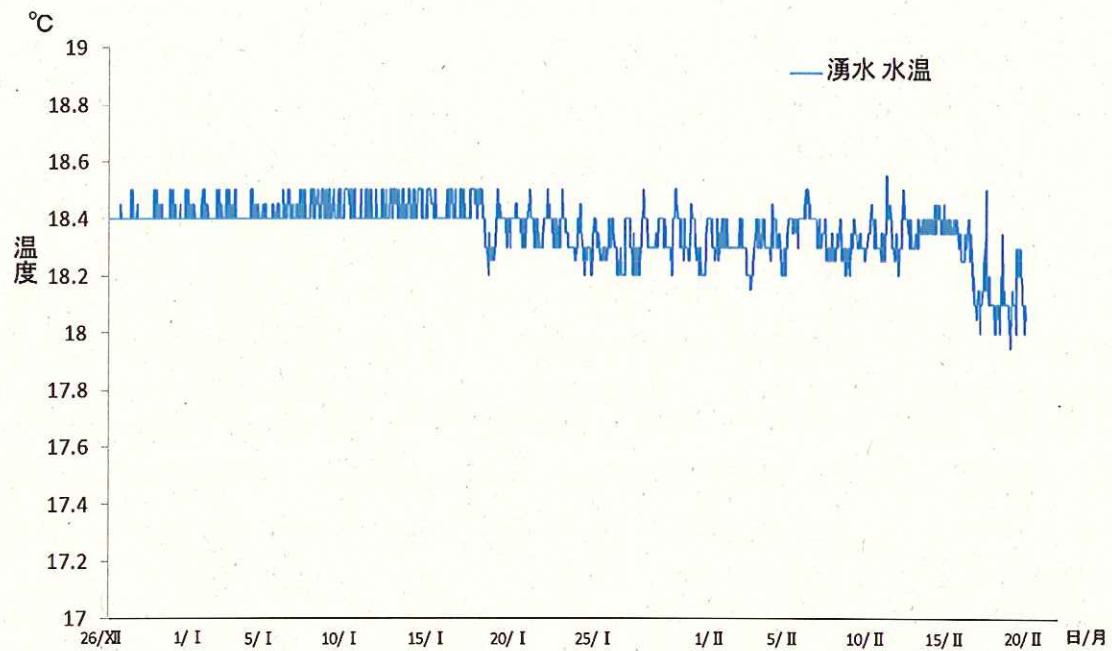


図38. 2011年12月25日～2012年2月20日のD地点の湧水の水温。

D地点で湧き出している湧水の温度を直接自動記録温度計で測定した（図38）。水温は大きな変化はなく、 18.3°C 前後を維持していたが、気温の低下とともに少しづつ下がり、2月19日1時に調査期間中最低の 17.95°C を記録した。調査期間中の平均湧水水温は 18.36°C だった。

5・4 考察

熊本県江津湖は木幡池よりも大きな湖で、木幡池よりも植生は多様であり、在来のヒラモ、エビモなどや、外来種も多様であり、ボタンウキクサ、オオカナダモ、オオフサモ、ホテイアオイ、ブラジルチドメグサなど日本に侵入したほとんどの外来水草が生育している。また、江津湖の環境保全活動は活発であり、ボランティアやシルバー人材による駆除もされており、植生は盛んに搅乱されている。

4地点中、A、D地点でボタンウキクサの駆除作業が行われ、B、C地点ではされなかつた。A地点の2月20日の調査では、ボタンウキクサは群落を形成していないものの、湖岸の岩の隙間に生き生きと元気な栄養体が生存していた。B地点でも、栄養体が越冬したもの、A地点に比較して生氣を失った深緑色の栄養体が多く、大きなダメージを受けていたようだつた。2地点の植物体の見た目とはうらはらに、A地点とB地点の栄養体の直径と葉の枚数には有意差はなく、むしろA地点の方が小さな栄養体が多かった。これは、A地点でボタンウキクサの駆除作業が行われたためであろう。作業が行われなければ、A地点の方が大きな栄養体が越冬していたと思われる。一方でC地点では越冬したもの、B地点以上に栄養体は生氣を失い、寒さにより縮れていた。C地点は葉の枚数、直径とともにA、B地点よりも小さかつた。またC地点では水面からの高さが0.31cmであり、他の2地点よりも著しく低く、栄養体全体はほぼ水中に沈んでいた。

このように、同じ江津湖で越冬したボタンウキクサに、A、B、Cの3地点で生育に差が発生したのは、水温と気温が影響していると思われる。すなわち、最も見た目の成育が良かったA地点では、最低水温は12.2°Cと高く、最も成育が悪かったC地点では最低水温が7.4°Cまで低下していた。C地点で水温が低い原因は、江津湖は湧水によりできた湖であるため、より上流にあるA地点では水温が高く、下流のC地点では外気温の影響を強く受け水温が低下したためである。C地点では同様に気温も低い原因は、水温が低いため、水によって空気がほとんど暖められないためであると考えられる。C地点では水温とそれに伴う気温が他の地点よりも大きく低下したため、栄養体は外気温よりも温度が高い水温の恩恵を受けるために水中に沈んで越冬をはかったのだと考えられる。

常に冬季の平均水温が18.3°Cの湧水が流れ込んでいる江津湖では最低水温7.4°Cで越冬を確認した。最低水温17.9°Cを保つ木幡池では当然多くの栄養体が越冬するものと思われる。しかし、江津湖と違い、木幡池では温排水が停止する可能性があり、停止すればボタンウキクサは枯死してしまう。一方で、江津湖同様温水が停止しなければ、木幡池では大きなシードバンクがあることは本研究で確認されているため、種子から発生したボタンウキクサが越冬し翌夏に再び大発生する可能性は非常に高い。シードバンクの種子の発芽能力がなくなるまで今後も注意し続ける必要がある。

6. 総合考察

以上の結果を総括すると、京都府宇治市にある木幡池では、2007－2008年冬季はボタンウキクサの多くの栄養体が越冬し、その年の夏季は再び大繁殖した。2008－2009年冬季は、2009年の調査ではボタンウキクサは越冬したもの多くの栄養体が枯死しており、群落の面積も急減していた。2009－2010年冬季は、2009年の12月の調査では、ボタンウキクサの栄養体が木幡池北池の3分の1ほどを覆っていたが、2010年2月には寒さで枯死し消えてしまっていた。2010年12月に小さな群落を形成したもの、2011年1月の調査ではボタンウキクサは枯死し、栄養体は1個体も見いだせなかった。このボタンウキクサが越冬するかどうかの理由は上流の家電メーカーのから流れ出た温排水が恒常に流れたか否かが大きくかかわっているのではないかと仮定した。

実際の水温と気温の推移を調べてみると、2007年12月の温排水が流れ込む木幡池 北池の水温は平均水温が21.9°C、最低水温が19.5°Cであった。一方、流れ込まない中池では、平均水温が8.2°C、最低水温が4.2°Cであった。北池では温排水が流入していることで、冬でも高い水温を保っている。北池では多量のボタンウキクサの栄養体がみられたのに対して、中池では夏の間にはあったにもかかわらず、冬季にはまったくみられなかった。ボタンウキクサは温排水の下で越冬しており、平均水温8.2°Cではボタンウキクサの栄養体にとって生存が難しい温度であろうと考えられた。

2010年2月7日0時～24時までの24時間の温度の推移は、北池のボタンウキクサの葉の下では最低気温でさえ3時45分に12.1°Cを示し、平均気温は15.0°Cであった。一方で、葉の上の最低気温は4時15分に4.2°Cまで低下し、平均気温は7.7°Cであった。葉の下の気温が高いのは、高い水温によって暖められた空気が重なり合った葉の下を温室状態にしているためだと考えられた。大きな栄養体のロゼットの下に存在していた小さな栄養体は大きなロゼットの葉により霜を防ぐことができ、高い気温を保つことができたため、小さな栄養体の生長点が保温され越冬するのだと考えられた。

これらの結果から、近年木幡池北池におけるボタンウキクサの栄養体が激減しているのは、上流の家電工場からの温排水の有無と大きく関係していた。すなわち、越冬が確認された2007－2008年冬季は家電工場からの温排水の流入は連続操業のため、正月三が日を含めてまったく止まらなかった。ボタンウキクサの減少が激しかった2008－2009年は、1月1日から4日までの4日間工場の操業が止まり、温排水が流れていなかった。4日間の温排水の停止でボタンウキクサはかなり減った。ボタンウキクサが越冬できなかった2009－2010年は温排水が真冬の2月9日から14日までの6日間停止していた。温排水の流入がなくなり、北池が低水温になつたためにボタンウキクサが枯死してしまったと考えられる。最も寒い2月の6日間の温排水の停止は、ボタンウキクサの冬季の生残に致命的な影響を与えると考えられた。

次に、生産種子について検討した。木幡池から採集した底質56kgを神戸大学に持ち帰り、そのまま乾燥させないで篩であるって石を抜き代掻きをし、温室の湛水環境で発芽を調べたところ、5ヶ月間経過してもボタンウキクサの発芽はまったくみられなかった。その底質を3段階（弱乾燥、中乾燥、強乾燥）の乾燥処理後に代掻きをし、10cmほどの湛水環境を維持したところ、いずれの処理でも発芽が見られ、実生が水面上に展開した。ボタ

ンウキクサの種子は乾燥に強く、発芽には乾燥過程が必要であることが解明された。したがって、木幡池にはこれまでに生産されたボタンウキクサの種子が多量に沈んでいると思われ、巨大なシードバンクが存在するものと考えられる。これらの種子からどの時期にどのような条件で発芽するか検討する必要がある。

火山の影響で天然の高温水が常時流入し、現在もなおボタンウキクサが越冬と繁殖を続いている熊本県江津湖において、冬季のボタンウキクサの生残と水温、気温を調査したところ、冬期間に湧き出た温水の温度は 18.0～18.5°C（平均 18.3°C）であった。これが流下するにつれて下がるが、最も暖かった場所では最低水温が 12.2°C であり、ここではボタンウキクサが越冬できた。したがって、冬季の最低水温が 12°C 以上を維持する場所では熱帯産のボタンウキクサは越冬できるものと考えられる。

温排水が冬季に停止する条件では、種子のみによる大量繁殖は困難であると考えられるが、温帶に適応した系統が春～夏に発芽した個体から急激に増殖して淀川の城北ワンド等で今後増殖するかどうかについては温帶への適応の観点からさらに検討する必要がある。

謝辞

私は 40 年前に水田雑草オモダカの生態研究をしたころから、水生植物に興味を持っていました。最初は在来種の研究をしていたが、神戸大学に赴任して以来、ボタンウキクサをはじめとして、オオアカウキクサ類、オオサンショウモ、ホティアオイなど外来種について学生とともに研究室をあげて研究してきた。環境省の許可をいただき、特定外来生物について本格的に研究できるようになった。ボタンウキクサは樋口俊輔（平成 20 年度卒業、現在、福岡県の農業改良普及センター勤務）、内田ゆう子（平成 21 年度卒業、現在、（株）クラコン勤務）、玉田勝也（平成 23 年度卒業、現在、奈良県農業研究センター勤務）の 3 君の卒業研究で担ってもらった。とくに、本研究は玉田勝也君の修士課程における研究成果に負うところが大きい。記して感謝申し上げる。

温排水が流入する河川のボタンウキクサ付近に関する水温、気温など微気象の調査には多大な費用を費やした。これをサポートしていただいたのは財団法人 河川環境管理財団である。この予算がなかったら本研究における実態把握は貧弱なものになったであろう。また、この会計を担当していただいた神戸大学農学部総務部会計係ならびに熱帶有用植物学研究室の西田真理氏にもお礼を申し上げたい。

熊本市江津湖の情報をいただき、調査をお手伝いいただいた熊本県農業研究センターの中島 雄氏（熱帶有用植物学研究室を平成 20 年度卒業）、文献の複写など水草に関する情報をたくさんいただいた神戸大学大学院理学研究科の角野康郎教授、木幡池の撮影を手伝っていただいた京都府立東稜高等学校 伴 浩治先生、木幡池のボタンウキクサ除去の情報をいただいた京都府山城北土木事務所 中川 学氏、木幡池の撮影を手伝っていただいた宇治市在住の丹羽建二氏および山末祐二名誉教授、はじめに木幡池のボタンウキクサの情報を提供していただいた湯谷 智氏、およびいろいろな作業を手伝っていただいた熱帶有用植物学研究室のメンバーの諸君にもお礼を申し上げたい。

引用文献

- ¹ Bruner, M. C. 1982. Water-lettuce, *Pistia stratiotes* L. *Aquatics* 4, 4-14.
- ² USGS (United States Geological Survey) 2010. Nonindigenous Aquatic Species.
<http://nas3.er.usgs.gov>
- ³ Den Hollander, N.G., Schenk, I.W., Diouf, S., Kropff, M.J., and Pieterse, A.H. 1999. Survival strategy of *Pistia stratiotes* L. in the Djoudj National Park in Senegal. *Hydrobiologia* 415, 21-27.
- ⁴ Sharma, B. M. 1984. Ecophysiological studies on water lettuce in a polluted lake. *Journal of Aquatic Plant Management* 22, 17-21.
- ⁵ 児嶋清 1999. 1998 年における浮遊性雑草ボタンウキクサの発生と越冬状況. 雜草研究 38 (別), 248-249
- ⁶ Šejna N., Haler M., Škorník S. and Kaligarič M. 2007. Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia. *Aquat. Bot.* 87(1), 75-79
- ⁷ 神谷要 2001. 鳥取県簸川郡大社町におけるボタンウキクサの越冬個体群の消失について. 水草研会報 73, 24-27
- ⁸ 富久保男 1989. 岡山県におけるホテイアオイの生態と防除に関する研究. 雜草研究 34, 94-100
- ⁹ 富久保男 1975. ホテイアオイの生態観察. 雜草研究 19, 41-45