

表3 豪雨、渇水についてリスクレベルが5に設定された危害

危害原因事象	監視項目	備考	リスクレベル	採用事業体数
豪雨	耐塩素性病原性微生物	クリプトスポリジウム等を検出した場合	5	4
渇水	耐塩素性病原性微生物	クリプトスポリジウム等を検出した場合	5	3

(3) 気候変動に関連した危害に対する監視項目について

水安全計画の中では、「どの監視項目について、どこで監視を行う。」という、平常時から監視を行う「項目」および「地点」が設定されており、「その監視地点のうち、どこで異常があれば対応マニュアルに従った対応を行う。」という異常時の対応が設定されている。

豪雨における監視項目は、最も少ない水道事業体で2項目、最も多い水道事業体で24項目であった。表4に、設定している事業体が多かった監視項目を示す。

全ての水道事業体で危害の発生箇所である水源の「濁度」を監視項目に設定し、対応していた。また、水源に多い監視項目として、「トリハロメタン」、「有機物(TOC)」、「耐塩素性病原生物」、「臭気」、「残留塩素」を設定している水道事業体が多かった。取水・導水に関しては、7事業体で「水量」が監視項目に設定していた。浄水場に関しては、「濁度」、「耐塩素性病原生物」、「pH」を監視項目と設定している水道事業体があったが、約半数の水道事業体では浄水場での監視項目を設定していなかった。

一方、渇水における監視項目は、最も少ない水道事業体で3項目、最も多い水道事業体で17項目であった。表5に、設定している事業体が多かった監視項目を示す。

渇水時には、9事業体で危害の発生箇所である水源の「有機物(TOC)」を監視項目に設定し、対応していた。それ以外には、「pH」、「トリハロメタン」、「ジェオスミン、2-MIBのカビ臭物質」などを監視項目に設定している水道事業体が多かった。取水・導水に関しては、4事業体で「水量」が監視項目に設定していたが、約半数の水道事業体では監視項目を設定していなかった。浄水場に関しては、ほとんどの水道事業体では監視項目を設定していなかった。また、水道事業体の特性や地域性から比較すると、渇水時に温泉水比率が上昇し、監視項目に「ヒ素」、「ホウ素」を設定している水道事業体などがあった。

表4 豪雨における主な監視項目

監視項目	設定事業体数
濁度	11
トリハロメタン	7
有機物(TOC)	6
耐塩素性病原生物	4
臭気	4
残留塩素	4

表5 渇水における主な監視項目

監視項目	設定事業体数
有機物(TOC)	9
pH	8
トリハロメタン	7
カビ臭物質	5
濁度	4
アンモニア態窒素	4
残留塩素	4

(4) 気候変動に関連した危害に対する対応マニュアルについて

今回の調査対象の全水道事業体において、気候変動時における危害に対する監視項目について、「監視地点」、「監視方法」、監視の結果を評価するための「管理基準」を設定していた。また、監視によって管理基準を逸脱した場合の対応を、実態に合わせて具体的に設定し、対応マニュアルを作成していた。しかし、監視方法や管理基準、管理基準を逸脱した場合の具体的な対応は、各

事業者によって異なっていた。

例えば、豪雨において、全ての水道事業者が監視項目に「濁度」を設定していた。このとき、管理基準が設定されていた監視地点のうち、最も頻度が高かった地点はろ過池出口で、11事業者のうち8事業者において、数値として管理基準を設定していた。すなわち、7事業者では0.1度以下、残り1事業者で0.08度以下としていた。一方、濁度に関連する管理基準を「急激な上昇の兆候がみられないこと」、「管理基準をこえないこと」と表現するなど数値基準を記載していない水道事業者もあった。また、濁水の場合、監視項目として「有機物（TOC）」や「pH」が多かったが、同様に、水道事業者によって「管理基準」と「管理基準を逸脱した場合の対応」が異なっていた。

調査対象の水道事業者では、豪雨、濁水における残留塩素低下のリスクを挙げていたが、これについては対応マニュアルを作成していなかった。つまり、気候変動によって抽出している監視項目の中には、対応マニュアルが作成されていない場合もあった。この理由の一つとして、リスクレベルに応じた対応マニュアルの作成や、具体的な対応は他のマニュアル（支援プログラム）を活用している場合があることが考えられた。

さらに、調査対象の水道事業者によっては、セキュリティの観点から、監視方法、管理基準、対応マニュアルを非公開としている水道事業者もあった。公開している場合でも、上述したように、管理基準の表記を「急激な上昇の兆候がみられないこと」、「管理基準をこえないこと」としているところもあった。

表6に、濁度に対する対応マニュアルの例を示す。このマニュアルでは、危害に対する監視項目（関連水質項目）と発生場所がわかれば、そこでの対応方法が具体的にわかる構成となっている。また、このマニュアルの特徴として、①施設区分ごとに管理基準や対応方法を設定している点、②管理基準が通常時、緊急時の2段階で設定している点、③対応方法において実施事項を具体的に記載している点、が挙げられた。

表6 濁度に対する対応マニュアルの例

監視項目	施設区分	監視方法	管理基準	対応方法
濁度	取水	CRT監視装置 (取水原水濁度) 及び手分析	取水原水濁度が30度を超過した 場合	危害レベル2 (1)CRT監視装置等で取水原水濁度の監視を強化する。
			着水原水濁度が30度を超過した 場合	危害レベル2 (1)CRT監視装置等で着水原水濁度の監視を強化する。 (2)導水ポンプ設備の稼働状況を確認し、異常があれば予備機への切り替え等の対応を行う。 (3)運転支援機能による前凝集剤注入率予測値、ジャーテスト等により、前凝集剤の適正注入率を確認する。 (4)取水場～浄水場間の管路の水圧、水量の状況を確認し、管路破裂が確認された場合には事故等対策要綱の事故等対策指令施行要領(施設及び管路事故対策指令)に基づき対応する。(取水場、浄水場)
	着水井	CRT監視装置 (着水原水濁度)、手分析及び 異常対策支援の 予測通知	着水原水濁度が100度を超過した 場合	危害レベル3 (1)所内の高濁時連絡体制に基づき対応する。 (2)沈殿池スラッジかき寄せ機を連続運転にする。(ただし着水原水濁度が50度を超過した場合)
			沈殿水濁度が0.8度を超過した 場合	危害レベル2 (1)CRT監視装置等で着水原水濁度、沈殿水濁度、水温、前凝集剤・前火星注入率、フロック形成状況(監視カメラ)の監視を強化する。 (2)CRT監視装置等で薬注設備、攪拌機、排泥設備の稼働状況を確認し、異常があれば予備機、予備ラインへの切り替え等の対応を行う。 (3)運転支援機能による前凝集剤注入率予測値、ジャーテスト等により、前凝集剤の適正注入率を確認する。 (4)沈殿池の濁り等について、目視確認を行う。
	沈殿池	CRT監視装置 (沈殿水濁度)及び 毎日の手分析	沈殿水濁度が1.0度を超過した 場合	危害レベル3 (1)所内の水質異常時の連絡体制に基づき対応する。 (2)運転支援機能による前凝集剤注入率予測値、ジャーテスト等に基づき、前凝集剤の適正注入率を確認する。 (0.1度超過が長期に及ぶことが予想される場合) (1)異常のあった浄水処理系統の処理水量を減量する。 (2)他浄水処理系統の処理水量を増量する。

(3) 水安全計画における気候変動に関連した危害の位置付け

今回の調査対象のから、水安全計画や対応マニュアルにおいて、ある程度以上の頻度で起きる豪雨や濁水に関しては一応十分な備えが取られており、特に大きな問題となることはないと考えられた。しかし、国内の水安全計画の場合、危害抽出やその対応は、これまでの知見を踏まえたノウハウに基づいている。一方、気候変動に関連する危害は、今後、起こる可能性がある（起こりつつある）危害であるため、現状の水安全計画では反映されていない点があると考えられた。

気候変動と関連していると考えられている原因事象のうち、これまではなかったものについては、対応措置を新たに考えていく必要があると考えられる。例えば、水道事業者によっては、以下のような危害事象を水安全計画の中で取り上げていた。

- ・「土砂崩れなどによる取水路の損壊・閉塞」
- ・「木材流出による取水堰の破損」
- ・「水道施設の浸水被害」
- ・「高波による水道施設への被害」
- ・「津波における水管橋の損壊」
- ・「井戸水の塩水化」
- ・「黄砂の飛来」
- ・「水温の上昇に伴う臭素酸の増加」

水安全計画における危害原因事象は、短期的に水質項目を悪化させる事象（イベント）であり、対応措置は、水質項目の悪化を正常な（元の）状態に戻すことを意味する。したがって、気候変動と関連していると考えられている原因事象のうち、集中豪雨や濁水等、一つ一つは既存の危害原因事象であるが、その頻度や程度が変化しつつあることが気候変動によるものと考えられている事象については、水安全計画の改善することによる反映可能であると考えられた。

一方、気候変動による長期的な影響（何十年もかけて気温が数度上昇等）の場合、これまでの水道システムにおける（短期的な）危害と対応というよりは、正常な状態（通常運転）に対し、少しずつ影響をもたらす事象であると考えられる。したがって、このような事象については、危害というよりは、通常運転への反映となる可能性があると考えられた。

D. 結論

水安全計画における気候変動に関連した危害事象は、豪雨による濁度などの上昇や取水上の問題の生起、濁水による水源水量の減少や水質の悪化、その他水温上昇とそれに伴う富栄養化の進行並びに藻類の異常増殖などであった。これらの危害事象に関する各事業者のリスク評価結果は総じてさほど高くないが、豪雨時におけるクリプトスポリジウムによる汚染に関しては、高いリスクレベルを設定している事業者もあった。

また、多くの場合、水安全計画とは別に（水安全計画の一部として）現場用対応マニュアルが整備されており、その中で、監視方法のほか、管理基準や管理基準を逸脱した場合の対応方法が示されていた。豪雨時における監視対象項目としては、濁度、トリハロメタン、TOC、耐塩素性

病原生物、臭気、残留塩素など、渇水時における監視対象項目としては、TOC、pH、トリハロメタン、かび臭物質、濁度、アンモニア態窒素、残留塩素などが挙げられていた。

水安全計画や対応マニュアルにおいて、ある程度以上の頻度で起きる豪雨や渇水に関しては一応十分な備えが取られており、特に大きな問題となることはないと考えられた。しかし、国内の水安全計画の場合、危害抽出やその対応は、これまでの知見を踏まえたノウハウに基づいている。一方、気候変動に関連する危害は、今後、起こる可能性がある（起こりつつある）危害であるため、現状の水安全計画では反映されていない点があると推測された。

E. 参考文献

- 1) WHO (2004) Guidelines for drinking-water quality, 3rd edition, Vol. 1 Recommendations.
- 2) WHO and IWA (2009) Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers.
- 3) 厚生労働省健康局水道課（2008）水安全計画策定ガイドライン。
- 4) 日本水道協会（2008）水安全計画作成支援ツール。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

該当なし

気候変動による水質・水量の変化と
飲料水の水質管理への影響の評価
(ダム貯水池における水質の長期変動の解析)

研究分担者 柳橋 泰生

気候変動による水質・水量の変化と飲料水の水質管理への影響の評価 (ダム貯水池における水質の長期変動の解析)

研究分担者： 柳橋 泰生 福岡女子大学教授

A. 研究目的

気候変動による貯水池の水質への影響としては、水温の上昇による藍藻類の増殖、降雨パターンの変化による濁度の上昇等が考えられる。平成 21 年度は、水資源機構が管理している施設において、これまでに蓄積された水温や水質データの長期的変動の解析を行い、月 1 回実施している定期水質調査の線形近似による解析結果では一定の長期的変動の傾向はみられず、長期間にわたり自動観測装置のデータが蓄積されている 2 つのダム貯水池の水温は、Seasonal Mann-Kendall 検定¹⁾の結果、それぞれ有意な上昇傾向と低下傾向がみられた。

平成 22 年度は、定期水質調査結果についても Seasonal Mann-Kendall 検定を行うとともに、高緯度地域を含め全国のダム貯水池についても長期的傾向を把握するため、国土交通省が管理するダム貯水池にも解析対象を広げ、水温について長期的変動をみた。また、気候変動による降水パターンの変化によるダム貯水池の濁水長期化の発生頻度等への影響を把握するため、近年において濁水長期化が発生した水資源機構のダム貯水池において、降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係の解析を行った。

B. 研究方法

水資源機構では現在 51 ダム貯水池、水路等の施設の管理を行っている。管理にあたっては、「ダム貯水池水質調査要領」((財)ダム水源地環境整備センター、平成 8 年 1 月)²⁾等に準拠し、定期的に水質調査を実施している。また、国土交通省管理のダム貯水池においても定期的な水質調査を実施しており、水資源機構管理のダム貯水池のデータとともに、調査結果はダム諸量データベース(国土交通省)³⁾で公開されている。さらに、降水量、降水強度、流水水流量、濁水長期化のデータは、降水量および降水強度については気象庁のホームページ⁴⁾、流入水流量についてはダム諸量データベース、濁水長期化については水資源機構の水質年報⁵⁾に掲載されている。

このため、これらのデータを以下のとおり、整理・解析した。

(1) 水資源機構管理ダム貯水池の定期水質調査結果の解析

水資源機構が管理している 51 施設のうち、長期的にデータが蓄積されている 20 のダム貯水池の定期調査結果について長期的変動をみた。最も長いものでは、1975 年から 2008

年までの34年間のデータが蓄積されており、最も短いものは、2001年から2008年までの8年間であった。これらの貯水池では、原則として月1回、環境基準設定項目や富栄養化関連項目等の測定を実施している。なお、測定日は、各月中旬に行うことが多いが必ずしも一定ではない。気候変動に関連する項目として、水温および富栄養化関連項目を選定し、Seasonal Mann-Kendallの方法を用いて長期的な変動の傾向をみた。

(2) 全国のダム貯水池の定期水質調査結果の解析

ダム諸量データベースのデータを用いて、平成5年から20年までのダム貯水池の表層水温の長期的な変化を線形近似により解析した。ダム貯水池では、ダム管理の目的から月1回、水温や水質が測定されている。長期的変動をみるため、ある年で欠測月がある場合は、他の年の同じ月のデータは削除して解析した。ある年で欠測が多い場合は、その年のデータを全て削除した上で解析した。測定時刻に16年間で平均して2時間以上違いがある場合、または、各月の測定日が16年間で平均して15日以上違う場合は、そのダム貯水池のデータは解析対象にできなかった。

(3) 降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係の解析

水資源機構では、管理するダム貯水池の水質データを平成15年分から水質年報として公表している。水質年報には、濁水長期化現象について濁水発生日、収束日、推定される原因等を掲載している。なお、濁水とは、ダム貯水池からの放流水が濁った場合を指す。今回、水質年報に濁水長期化の記録がある全てのダム貯水池について、濁水長期化現象が発生した際の出水データおよび降水データを整理した。出水データはダム諸量データベースの流入量のデータ、降水量は当該ダムに最も近い気象観測所の降水量のデータを用いた。台風等における出水量の増加開始時から濁水発生までの流入水量を T 、出水時において最も流量が多い日の流入水量を P とし、濁水発生時の貯水位³⁾から貯水池水位-容量曲線図⁵⁾を用いて算出した貯水容量を V とし、ダム貯水池容量に対する流入水量の割合である T/V および P/V を算出し、解析を行った。

また、濁水発生の閾値となる出水量、降水量を推計するため、濁水長期化現象の発生頻度が高い3つのダム貯水池について、近傍の気象観測所の降雨記録が一定値以上の場合の一連の降水の総量、降水量が最大となった日の降水量、当該降水に対応する出水の総量、最も流量が多い日の流入水量のデータを整理し、濁水発生との関係をみた。濁水の発生メカニズムとしては、出水時の濁水の流入により、まず貯水池が濁り、それが大規模で全層に及ぶような場合は、放流水の選択取水設備が設置されているときでも、放流水が濁ることが考えられる。ダム諸量データベースに掲載されている濁度データにより、放流水は濁っていないが貯水池が濁っている場合を貯水池濁水として定義し解析対象とした。

C. 結果及び考察

(1) 水資源機構管理ダム貯水池の定期水質調査結果の解析

20のダム貯水池における各月の測定値について、Seasonal Mann-Kendall 検定法を用いて解析を行った結果を表-1に示す。Bは任意の2観測値間の傾きの中央値、Zは標準正規分布のZ値である。

Z値が有意 ($p < 0.05$) な施設についてみると、気温のBは、 -0.06 °C/年 (Fダム) から 0.15 °C/年 (Nダム) の範囲であり、20年間で 1 °C以上の変化を意味する 0.05 °C/年以上の上昇傾向のあるのが6ダム (表-1の↑を付したダム)、低下傾向のあるのが1ダム (表-1の↓を付したダム。以下、同様。) であり、上昇傾向にあるダム施設の方が多かった。表層水温のBは、 -0.11 °C/年 (Bダム) から 0.08 °C/年 (Nダム) の範囲であり、 0.05 °C/年以上の上昇傾向のあるのが1ダム、低下傾向のあるのが1ダムであった。底層水温のBは、 -0.10 °C/年 (Hダム) から 0.12 °C/年 (Lダム) の範囲であり、 0.05 °C/年以上の上昇傾向のあるのが2ダム、低下傾向のあるのが1ダムであった。

富栄養化関連項目についてみると、Z値が有意 ($p < 0.05$) な施設をみると、表層のクロロフィルa濃度のBは、 -0.24 $\mu\text{g/L/年}$ (Kダム) から 0.08 $\mu\text{g/L/年}$ (DダムおよびNダム) の範囲であり、20年間で 5 $\mu\text{g/L}$ 以上の上昇・低下傾向のあるものはなかった。表層の総リン濃度のBは、Aダムが大きな低下傾向を示したが、これは観測初期に大きな値が計測された影響が大きい。それ以外については、 -0.33 $\mu\text{g/L/年}$ (Fダム) から 0.47 $\mu\text{g/L/年}$ (Iダム) の範囲であり、20年間で 5 $\mu\text{g/L}$ 以上の上昇を意味する 0.25 $\mu\text{g/L/年}$ 以上の上昇傾向にあるのが1ダム、低下傾向にあるのが2ダムであった。表層の総窒素濃度のBは、 -21.25 $\mu\text{g/L/年}$ (Lダム) から 7.92 $\mu\text{g/L/年}$ (Dダム) の範囲であり、20年間で 100 $\mu\text{g/L}$ 以上の上昇を意味する 5 $\mu\text{g/L/年}$ 以上の上昇傾向にあるのが3ダム、低下傾向にあるのが4ダムであった。

以上のことから、20ダム貯水池の気温、水温、富栄養化関連項目について、個々では上昇や低下の傾向はみられるものの、共通して水温の上昇や富栄養化が進んでいるというような一定の長期的変動の傾向はみられなかったといえる。

(2) 全国のダム貯水池の定期水質調査結果の解析

ダム諸量データベースのデータを用いて、平成5年から20年までのダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した。長期的な傾向を把握することを目的としたため、平成5年からのデータが掲載されているダム貯水池を解析対象とした。表-2および図-1に各ダム貯水池の16年間の表層水温の変化を示した。16年間で水温が平均 1 °C以上上昇したダム貯水池は、19カ所と7割を超え、 3 °C以上変化したダム貯水池も2カ所あった。緯度の高低による傾向はみられなかった。

表-1 各ダム貯水池の水質等の長期的変動の解析結果（実績）

ダム名 (測定 期間: 年・月)		気温	表層水温	底層水温	クロフィル a 濃 度	総リン濃度	総窒素濃度
		℃	℃	℃	μg/L	μg/L	μg/L
Aダム (33・8)	B	0.01	0.02	-0.03	0.06	-646.45 ↓	0.20
	Z	0.55	1.92	-3.47	5.11	-3.08	0.36
Bダム (18・8)	B	0.01	-0.11 ↓	-0.03	-0.03	0.00	-2.00
	Z	0.22	-2.79	-3.56	-1.32	-3.32	-2.25
Cダム (33・1)	B	0.06 ↑	0.03	-0.02	0.05	-0.15	0.44
	Z	2.76	3.27	-3.01	3.94	-3.03	0.39
Dダム (32・7)	B	0.03	0.00	0.00	0.08	-0.17	7.92 ↑
	Z	1.28	0.35	0.80	4.99	-4.28	8.89
Eダム (10・0)	B	0.10	-0.05	-0.07	0.10	0.00	1.29
	Z	0.90	-1.47	-1.19	1.34	0.39	0.34
Fダム (32・8)	B	-0.06 ↓	0.00	-0.02	-0.13	-0.33 ↓	1.32
	Z	-2.55	0.39	-1.99	-6.24	-9.18	2.52
Gダム (19・0)	B	0.00	-0.01	-0.02	0.04	0.11	-5.78 ↓
	Z	-0.04	-0.82	-1.87	1.44	1.36	-3.39
Hダム (12・0)	B	0.07	-0.01	-0.10 ↓	-0.10	0.14	-1.50
	Z	0.70	-0.38	-4.11	-3.27	3.56	-1.52
Iダム (34・0)	B	0.06 ↑	0.00	0.04	-0.09	0.47 ↑	-3.49
	Z	3.40	0.38	4.55	-1.36	2.86	-1.29
Jダム (34・0)	B	0.03	0.03	0.00	-0.12	-0.20	6.72 ↑
	Z	1.36	3.25	1.13	-4.26	-5.13	6.34
Kダム (32・8)	B	0.07 ↑	0.04	-0.01	-0.24	-0.30 ↓	-9.07 ↓
	Z	3.08	4.26	-2.27	-6.03	-5.39	-7.40
Lダム (18・0)	B	-0.07	-0.03	0.12 ↑	0.12	0.00	-21.25 ↓
	Z	-1.40	-1.79	6.91	1.50	0.07	-7.40
Mダム (10・0)	B	-0.15	-0.05	-0.04	-0.02	0.00	2.00
	Z	-1.88	-1.08	-1.60	-0.08	0.05	1.01
Nダム (26・9)	B	0.15 ↑	0.08 ↑	0.03	0.08	0.11	2.75
	Z	5.47	6.26	2.39	6.26	1.11	1.68
Oダム (21・0)	B	-0.13	-0.03	-0.03	-0.10	0.00	1.67
	Z	-1.46	-0.43	-0.97	-1.19	0.94	0.45

Pダム (33・5)	B	0.03	0.01	0.04	-0.01	-0.08	0.38
	Z	1.90	1.75	3.99	-1.80	-2.55	0.52
Qダム (33・8)	B	1.01	0.03	0.03	0.01	0.06	1.86
	Z	1.55	4.94	5.97	1.03	1.87	2.62
Rダム (33・1)	B	0.05 ↑	0.02	0.01	0.01	-0.08	3.50
	Z	3.23	-6.45	2.07	0.87	-2.60	3.54
Sダム (8・0)	B	0.20	0.18	0.00	0.00	-0.23	-20.88 ↓
	Z	0.86	1.87	0.00	0.04	-0.53	-6.33
Tダム (30・0)	B	0.09 ↑	0.04	0.06 ↑	-0.18	-0.14	7.50 ↑
	Z	4.11	3.45	8.29	-2.95	-2.80	4.68

表-2 ダム貯水池の表層水温の長期的な変化（実績）

都道府県	ダム名	緯度	16年間の変化（℃）
北海道	桂沢ダム	43度14分20.00秒	3.01
岩手県	御所ダム	39度41分25.00秒	1.06
岩手県	四十四田ダム	39度45分10.00秒	0.67
岩手県	田瀬ダム	39度20分43.00秒	0.88
岩手県	湯田ダム	39度18分4.00秒	-0.79
岩手県	石淵ダム	39度6分57.00秒	2.07
秋田県	玉川ダム	39度49分45.00秒	1.19
宮城県	鳴子ダム	38度45分15.45秒	1.19
宮城県	七ヶ宿ダム	37度57分41.00秒	1.56
群馬県	奈良俣ダム	36度52分0.00秒	-1.63
群馬県	矢木沢ダム	36度54分0.00秒	0.40
群馬県	藤原ダム	36度48分15.00秒	1.04
群馬県	相俣ダム	36度42分45.00秒	1.13
長野県	美和ダム	35度48分47.47分	0.38
長野県	小渋ダム	35度36分19.50秒	1.80
岐阜県	丸山ダム	35度28分5.00秒	1.21
愛知県	矢作ダム	35度14分6.66秒	3.38
京都府	天ヶ瀬ダム	34度52分40秒	1.88
京都府	高山ダム	34度35分0.00秒	-0.50
奈良県	室生ダム	34度33分23.00秒	1.59
鳥取県	菅沢ダム	35度12分8.00秒	2.00
高知県	早明浦ダム	33度45分21.02秒	1.71

愛媛県	野村ダム	33度 21分 38.00秒	1.36
大分県	松原ダム	33度 11分 40.04秒	0.35
大分県	下笠ダム	33度 9分 34.05秒	1.71
佐賀県	厳木ダム	33度 19分 35.92秒	2.13
鹿児島県	鶴田ダム	31度 59分 20.00秒	1.73

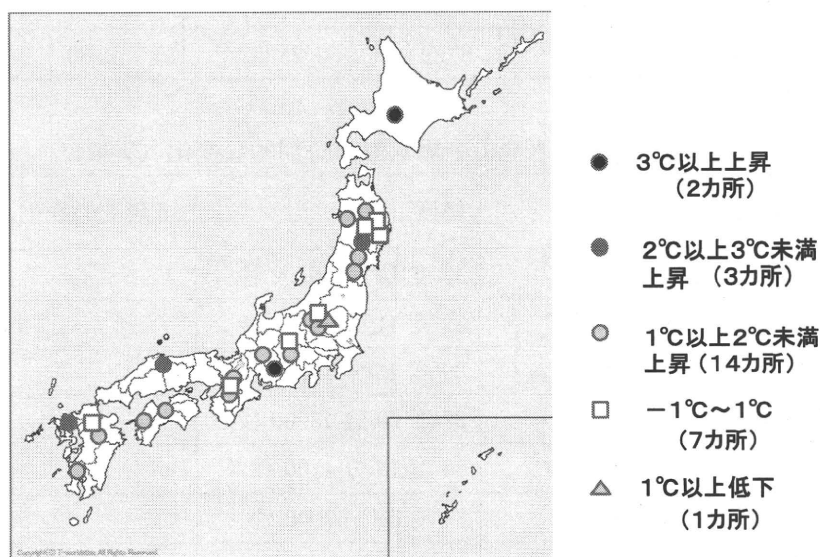


図-1 ダム貯水池の表層水温の長期的な変化（実績）

(3) 降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係の解析

水資源機構のダム貯水池では、平成9年以降、放流水の濁水長期化の記録が8つのダムで計26回あった。そのうち、濁水長期化が発生した原因が台風による大量の降雨と考えられたものが14回、その他の降雨と考えられたものが8回、水位低下による濁水濁水と考えられたものが4回であった。台風およびその他の降雨により濁水長期化が発生した場合について、ダム貯水池容量に対する流入水量の割合である T/V および P/V を算出したところ、 T/V の最小値は6%、中央値は29%、平均値は80%、最大値は607%、 P/V の最小値は4%、中央値は13%、平均値は65%、最大値は587%であり、濁水長期化のイベントごとに大きな差異があった。

ダム貯水池の特性や選択取水設備の機能等により濁水発生の発生機序が異なることが考えられたため、濁水長期化現象の発生頻度が高い3つのダム貯水池について個別に詳しく解析した。濁水の発生メカニズムとしては、出水時の濁水の流入により、まず貯水池が濁り、それが大規模で全層に及ぶような場合は、放流水の選択取水設備が設置されていると

きでも、放流水が濁るということが考えられる。ダム諸量データベースに掲載されている濁度データにより、放流水が濁っていないが貯水池が濁っている場合を貯水池濁水として解析対象とした。近傍の気象観測所の降雨記録が一定値以上の場合の一連の降水の総量、降水量が最大となった日の降水量、当該降水に対応する出水の総量、最も流量が多い日の流入水量のデータを整理し、放流水濁水および貯水池濁水の発生との関係を見た。

図-2 は、Eダム貯水池の出水時の流入水量と濁水発生の関係を示したものである。横軸が一連の出水時の流入水の総量、縦軸がピーク日の流入量である。図-3 は、他のダムとの比較を可能にするため、貯水池容量で除し標準化を行ったものである。放流水濁水が発生した場合と濁水が発生しなかった場合では差異があるのが認められ、 T/V が20%、 P/V が7%程度のところに閾値があると考えられ、濁水発生の目安となる出水量を設定する根拠が得られた。

また、図-4および図-5は、近傍の気象観測所における降水量を横軸に、出水時の流入水量を縦軸においたもので、ほぼ線形の関係がみられた。

以上のことから、ダム貯水池ごとに、降水強度がどの程度になれば放流水濁水が発生するかを予測することは可能と考えられた。

他の2つのダム貯水池についてもおおむね同様の関係がみられた。

D. 結論

気候変動による水源水質の変化として注目されるものとして、水温の上昇による藍藻類の増殖、降雨パターンが変化することに伴う濁度の上昇等について、これまでに大量に蓄積されているデータを用いて解析した。

- (1) 水資源機構において長期間にわたって蓄積されている定期調査結果を用いて、気温、水温および富栄養化関連項目の長期的変動の傾向を解析した。その結果、20のダム貯水池の気温、水温、富栄養化関連項目について、Seasonal Mann-Kendallの方法を用いてトレンド解析を行ったところ、共通して上昇あるいは低下しているなどの一定の長期的変動の傾向はみられなかった。

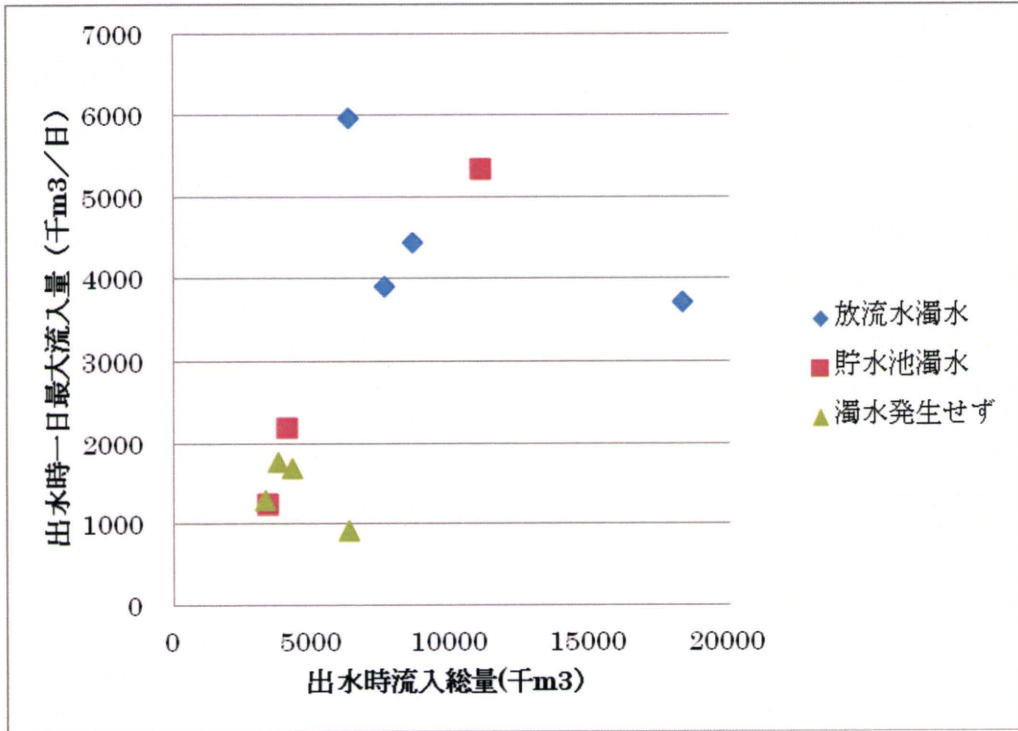


図-2 出水時流入総量と出水時一日最大流入量 (Eダム貯水池)

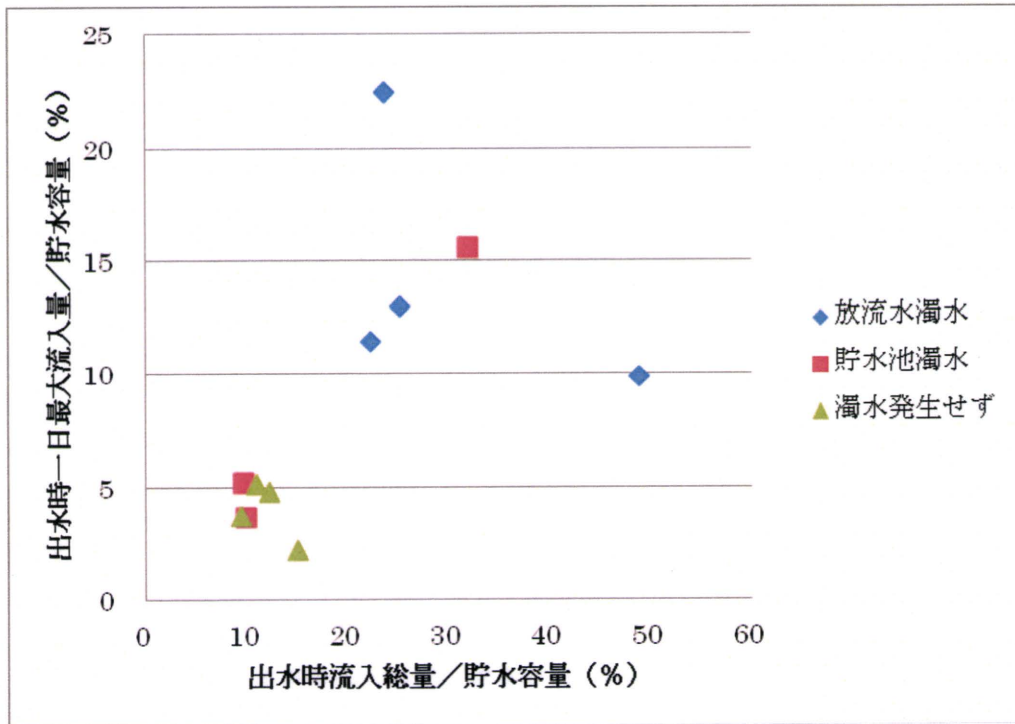


図-3 出水時流入総量 (T) / 貯水容量 (V) と
出水時一日最大流入量 (P) / 貯水容量 (V) (Eダム貯水池)

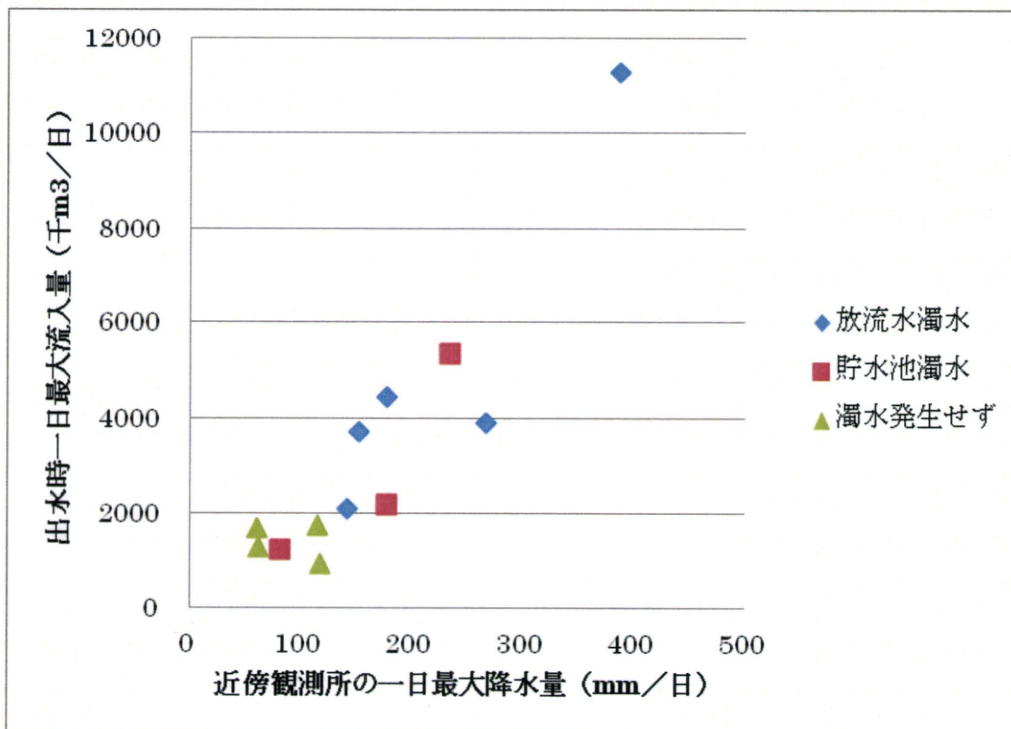


図-4 近傍気象観測所の一最大降水量と出水時一日最大流入量 (Eダム貯水池)

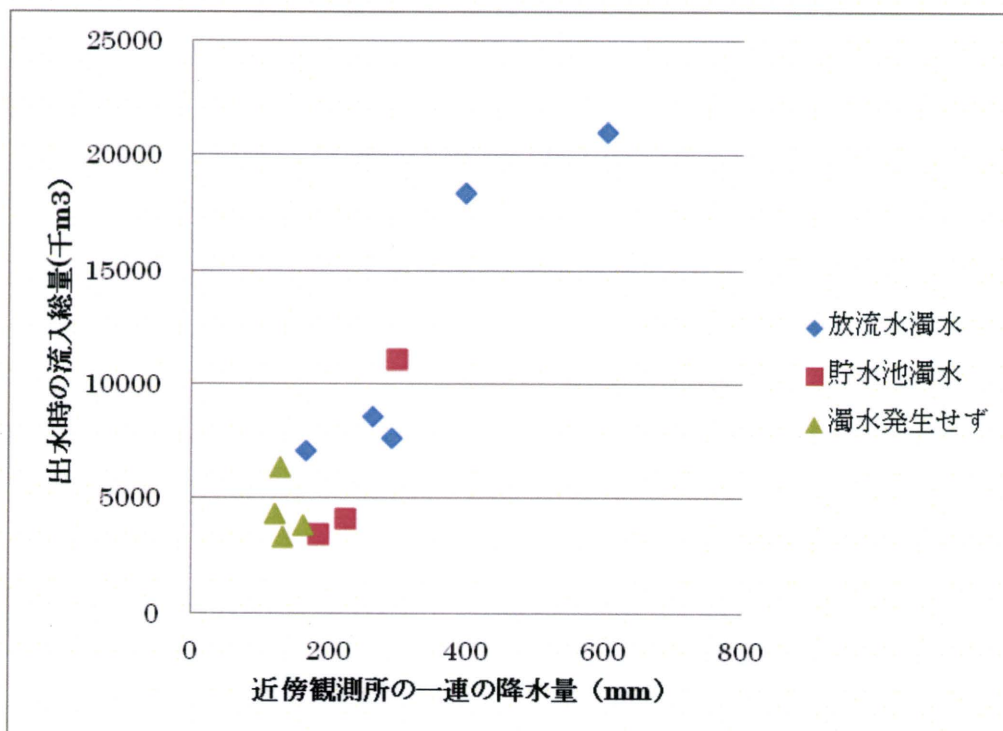


図-5 近傍気象観測所の一連の降水量と出水時の流入総量 (Eダム貯水池)

- (2) ダム諸量データベースのデータを用いて、平成5年から20年までのデータがある（欠測年がある場合もある。）全国27のダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した。この結果、16年間で水温が平均1℃以上上昇したダム貯水池は、19カ所と7割を超え、3℃以上変化したダム貯水池も2カ所あった。
- (3) 濁水について、強雨強度、出水時の流入水量、濁水長期化の発生の関係を、これまでに濁水長期化の発生の記録がある水資源機構管理のダム貯水池でとられたデータをもとに解析した。この結果、出水量と放流水の濁水発生の有無には一定の関係があることが認められ、大きな出水の場合に放流水濁水が発生し、その目安となる出水量を設定することができた。また、近傍の気象観測所における降水量と出水時の流入水量は、ほぼ線形の関係がみられた。このことから、降水強度から放流水濁水の発生を予測することが可能と考えられた。今後は、気候変動による降水パターンの変化のデータとあわせ、濁水発生の将来予測を行い、濁水発生時の水道の浄水場での適応策を取る際の基礎資料とする予定である。

E. 参考文献

- 1) D.R. Helsel and R.M. Hirsch: Statistical Methods in Water Resources, U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations Book4, Chapter A3, USDS
- 2) (財)ダム水源地環境整備センター：ダム貯水池水質調査要領（改訂）、1996
- 3) 国土交通省：ダム諸量データベース、<http://www2.river.go.jp/dam/>
- 4) 気象庁：過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- 5) 水資源機構：水質年報、平成15年～平成21年

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

柳橋泰生、今本博臣、廣瀬真由、榎暁史：水資源機構ダム貯水池における水質の長期的変動、環境衛生工学研究、24(3)、2010

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

該当なし

分担研究報告書 3

水源における水質・生物相の長期的変化の把握と
水道水質管理への影響の評価

研究分担者 藤本 尚志

分担研究報告書

水源における水質・生物相の長期的変化の把握と水道水質管理への影響の評価

研究分担者：藤本 尚志 東京農業大学応用生物科学部

A. 目的

近年、湖沼・貯水池を水源とする浄水場においてピコプランクトンによる濁度障害が発生し問題となっている。ピコプランクトンとは0.2~2 μm の大きさのプランクトンの総称であり、原核生物に属するものと真核生物に属するものが存在する。水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針において、クリプトスポリジウム等による汚染のおそれがある場合、ろ過池またはろ過膜の出口の濁度を0.1度以下に維持することが義務づけられているが、原水のピコプランクトンの細胞数が高まると0.1度以下に維持することが困難になる。ピコプランクトンはこれまで落射蛍光顕微鏡による観察における蛍光の色調により、クロロフィルを主要アンテナ色素とする真核ピコ植物プランクトン(CH-type)、フィコシアニン色素を主要アンテナ色素とするピコシアノバクテリア(PC-type)、フィコエリトリンを主要アンテナ色素とするピコシアノバクテリア(PE-type)の3グループに分けて検討されている。しかしながら淡水域における属レベルの優占種や季節的消長に関する知見が不足している。本研究では、気候変動に対応する有効な飲料水質管理の方策を提示するための知見を得ることを目的として、分子生物学的手法によりどのような種類のピコプランクトンが存在するのか、その優占種、細胞数の季節変化を調べ、水温との関連性を評価する。さらには障害となっているピコプランクトンを分離・培養し増殖の温度依存性などについて検討を行う。昨年度は群馬県草木湖を対象として調査を行い、多様な真核ピコプランクトンが存在すること、季節によって群集構造が異なること、クリプト植物門に属するピコプランクトンが主要なピコプランクトンであることが明らかとなった。本年は引き続き調査を継続するとともに、ピコシアノバクテリアについても分子生物学的手法により検討を行った。さらに、宮ヶ瀬湖、相模湖といった水道水源においても同様の調査を行った。また、草木湖および相模湖を水源とする浄水場において各処理工程水の群集構造について検討を行った。

B. 研究方法

B-1 供試試料

真核ピコプランクトンについては群馬県草木ダム堰堤直上流から2009年6月12日、7月3日、8月19日、10月6日、12月1日、2010年3月1日、4月20日、5月24日に採水した試料を用いた。また、2010年5月24日の試料については放流水(取水深10m)、桐生市水道局元宿浄水場着水井、高速沈殿池、ろ過池の試料も同様に検討を行った。ピコシアノバクテリアについては2009年6月12日、2010年4月20日、5月24日、6月22日、7月22

日、8月24日、10月5日、11月9日、12月7日に採水した試料を用いた。

宮ヶ瀬湖については2010年4月14日、5月12日、6月2日、7月7日、8月5日、9月1日、10月6日、11月10日、12月1日、2011年1月12日に宮ヶ瀬湖ダム中央地点より採水した表層水を用いた。

相模湖については2010年4月20日、5月18日、6月7日、7月20日、8月17日、9月21日、10月19日、11月16日、12月14日、2011年1月18日、2月15日に相模湖大橋地点より採水した表層水、水深10mの試料を用いた。川崎市上下水道局長沢浄水場においては2010年4月21日、5月19日、6月8日、7月21日、8月8日、9月22日、10月20日、11月17日、12月15日、2011年1月19日、2月16日に着水井から採水した試料、砂ろ過水、沈殿水を用いた。

B-2 細胞数の計測

試料を孔径5 μm のメンブレンフィルターでろ過し、5 μm 以上のナノプランクトンを除去した後、孔径0.2 μm のメンブレンフィルターで吸引ろ過を行った。これについて落射蛍光顕微鏡を用いて蛍光の色調の違いによりPE-type、PC-type、CH-typeの3グループに分けて細胞数を計測した。

B-3 ピコプランクトンの群集構造解析

真核ピコプランクトンの群集構造解析はLefrancら¹⁾Richardsら²⁾に従って行った。ピコシアノバクテリアについてはIvanikovaら³⁾に従って行った。

試料を孔径5 μm のメンブレンフィルターでろ過し、5 μm 以上のナノプランクトンを除去した後、孔径0.2 μm のポリカーボネート製のメンブレンフィルターを用いた吸引ろ過により集菌を行った。群体形成性のピコシアノバクテリアが存在する場合は5 μm のメンブレンフィルターでろ過せずに集菌を行った。ろ過量は試料中の細胞数に応じて1~2Lとした。ただし、元宿浄水場および長沢浄水場の沈殿水、ろ過水においては10~20Lとした。集菌したフィルターからCTAB法¹⁾によりゲノムDNAを抽出した。得られたゲノムDNAを真核ピコプランクトンについては18S rDNA領域を特異的に増幅させるプライマー3Fphp、1749Rphp²⁾、ピコシアノバクテリアについては酸素発生型光合成微生物の16S rDNAを増幅させるプライマー106F、789R³⁾を用いてPCRを行った。このPCR産物をアガロースゲルおよびQIAquick Gel Extraction Kit (QIAGEN)を用いて精製を行った後、TOPO TA Cloning Kit (invitrogen)を用いてクローニングを行った。得られたクローンから任意で48クローンを選択し、挿入部分をコロニーPCRにより増幅させた。これを制限酵素HaeIIIを用いたRFLP法にてグループ分けを行った後、サイクルシーケンス法にて塩基配列を決定した。RFLP法で分けた1グループを1 OTU (operational taxonomic unit)とした。OTUはクローン数の多いものから順にK1, K2・・・(草木湖真核ピコプランクトンの場合)とした。すなわち2010年4月ではK1APR2010が最もクローン数が多い。塩基配列決定後FASTA (EBI)による相同性検索を行い、OTUとその近縁種について近隣結合法により系統樹を作成した。

C. 結果及び考察

C-1 草木湖の真核ピコプランクトンの群集構造解析

草木湖で発生する真核ピコ植物プランクトンは2009年6月、10月、2010年5月に 10^4 cells/ml以上となり、夏期と冬期に減少する傾向が見られた(図1)。草木湖の真核ピコプランクトンとしてクリプト植物門、緑色植物門、黄金色藻綱、ハプト藻綱、従属栄養性であるピコソエカ綱、アメーバ鞭毛虫門、繊毛虫門などに近縁な生物が存在することが明らかとなった(表1)。クリプト植物門に近縁なクローンはすべての試料から検出された。このように草木湖の真核ピコプランクトン群集は様々な分類群から構成され、光合成をするものとしいないものが混在していることが明らかとなった。しかしながら多くのOTUにおいて近縁種との相同性が90%以下と低く、複数の新規の真核ピコプランクトンの存在が示唆された。各月のOTUとそのクローン数からレアファクションカーブを作成したところ、2009年8月においてピコプランクトンの多様性が高いことが明らかとなった(図2)。各分類群のクローン数の割合を求めたところ、各分類群の割合は時期により変化しており、ピコプランクトンの群集構造は季節により変化することが明らかとなった(図3)。その中でも、クリプト植物門に近縁なクローンは7月、8月を除いたすべての月において20%以上を占めており、草木湖における主要な真核ピコプランクトンであることが示唆された。*Mychonastes* 属を含む緑色植物門は冬季に割合が高まることが明らかとなった。また、アメーバ鞭毛虫門は冬季において全く検出されなかった。

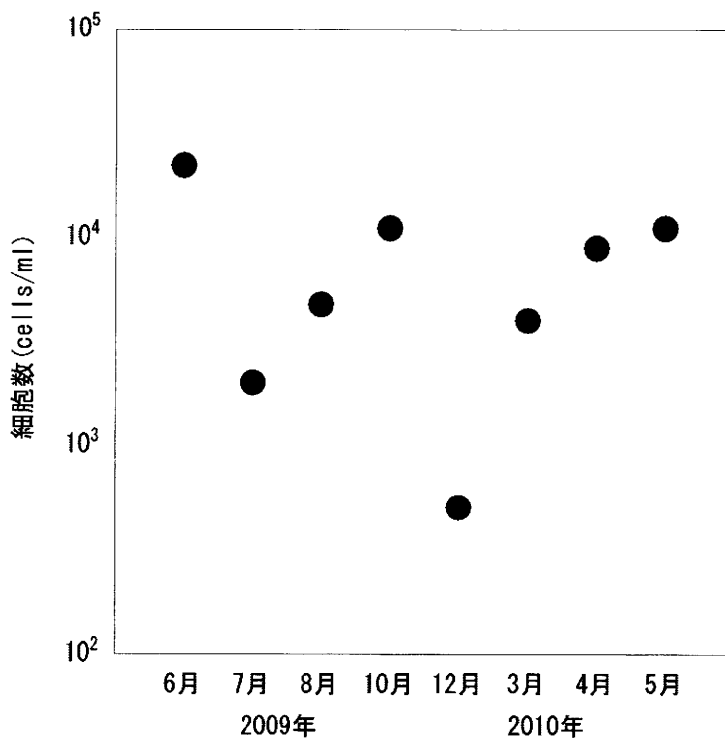


図1 草木湖における真核ピコ植物プランクトン(CH-type)細胞数の推移

表1 草木湖で検出された真核ピコプランクトンの相同性検索結果およびそのクローン数の推移

門、綱	属	相同性(%)	検出されたクローン数								
			Jun	Jul	Aug	Oct	Dec	Mar	Apr	May	
緑色植物門	<i>Chlorella vulgaris</i>	99.9		1							
	<i>Stichococcus deasonii</i>	93.4-93.7		1	7						
	<i>Mychonastes homosphaera</i>	99.0-99.6			2	1	33	15			
	<i>Chlamydomonas noctigama</i>	98.3			1						
	<i>Monomastix</i> sp.	93.2-93.7	6			3		2			
クリプト植物門	<i>Goniomonas</i> sp.	88.1-89.4	11	7	5	32	11	14	12	12	
	<i>Chroomonas</i> sp.	88	2								
ハプト藻綱	<i>Chrysochromulina parva</i>	99.4-99.6		1	1		2	9	15	5	
黄金色藻綱	<i>Chrysamoeba mikrokonta</i>	91.8			3						
	<i>Mallomonas annulata</i>	92.0-92.2			1					1	
	<i>Paraphysomonas butcheri</i>	92.8				1					
	<i>Paraphysomonas foraminifera</i>	89.9-95.5						1		9	
	<i>Poterioochromonas stipitata</i>	91.5						1			
	未同定株	95.8						1			
	未同定株	87.5-92.7							1	1	
	未同定株	91.4							1		
	未同定株	97.1								1	
ピコソエカ綱	<i>Nerada mexicana</i>	89.3-92.6	7			2				3	
	未同定株	86.1-89.3			4	1					
サカゲツボカビ綱	<i>Hyphochytrium catenoides</i>	93.9	1								
ラビリンチュラ菌綱	<i>Oblongichytrium</i> sp.	79				6					
卵菌綱	<i>Lagenidium giganteum</i>	97.6							12		
繊毛虫門	<i>Parastrombidinopsis shimi</i>	93-93.5		1		1	1	1		2	
	<i>Strombidium</i> sp.	97.3			1						
アピコンプレックス門	<i>Colpodella edax</i>	93.8			4						
アメーバ鞭毛虫門	<i>Bodomorpha</i> sp.	86.5-87.4	2	10	9						
	<i>Cercomonas edax</i>	86.1	2								
	<i>Cercomonas</i> sp. HFCC89	87.1		21							
	未同定株	87.8		2							
	<i>Cavemomonas stercoris</i>	86.8-88.3			1					6	
	<i>Eocercomonas echina</i>	85.4								6	
	<i>Platyreta germanica</i>	88								1	

18Sr DNA 領域に基づいて系統樹を作成したところ、既知種から根元より分岐する新規性の高いクラスター(LK-A~LK-G)が形成された(図4、5)。2009年6月、10月、2010年5月において最もクローン数の多いOTUであるK1JUN2009、K1OCT2009、K1MAY2010は貧・中栄養湖であるアメリカのジョージ湖およびフランスのパビン湖で検出されたクローン¹⁾²⁾とともにクリプト植物門の *Goniomonas* 属、*Chroomonas* 属から分岐する新規性の高いクラスターLK-Aを形成した(図4)。従って、草木湖で発生しているクリプト植物門に近縁な微生物は貧・中栄養湖一般的に発生する種であることが示唆された。K5APR2010はジョージ