

平成 26－29 年度文化庁天然記念物緊急調査事業
特別天然記念物「阿寒湖のマリモ」生育状況悪化の
原因究明及び保存対策検討調査

報 告 書



平成 30 年 3 月
釧路市教育委員会

目 次

事業の要約・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
事業報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1. 事業内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
(1) 事業実施に至る経緯・・・・・・・・・・・・	3
(2) 調査体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
(3) 事業計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
2. 調査内容および結果・・・・・・・・・・・・・・	8
(1) 球状マリモの生育状況悪化要因把握のための物理環境等調査・・・・	8
(2) 球状マリモの生育環境改善を目的とした水草の除伐試験1・・・・	19
(3) 球状マリモの生育環境改善を目的とした水草の除伐試験2・・・・	32
(4) 大型台風の通過によって攪乱を受けたマリモ群生地環境変化・・・・	44
3. まとめと今後の課題・・・・・・・・・・・・・・	56
(1) 本事業で得られた成果・・・・・・・・・・・・	56
(2) マリモ群生地における水草の持続的な管理に向けた課題・・・・	57
年次報告資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	59

事業の要約

阿寒湖のマリモ群生地は、20 世紀初頭に 4 か所あったものが森林伐採などの開発行為によって 2 か所に半減し、残されたマリモ集団についても、昭和 40 年代から大きな環境問題となっていた湖水の富栄養化などにより著しく減少した。このため、昭和 55 年前後から公共下水道の敷設や温泉街近くの湖底に溜まったヘドロの浚渫といった対策を施した結果、近年になってようやく水質が回復し、一時はマリモの減少に歯止めがかかったかのように思われた。しかしながら、平成 22 年頃からマリモと競争関係にある沈水植物（以下、「水草」）が急速に分布を拡大し、これと並行してマリモ分布面積の縮小や球状マリモの破損といった新たな問題が顕在化している。

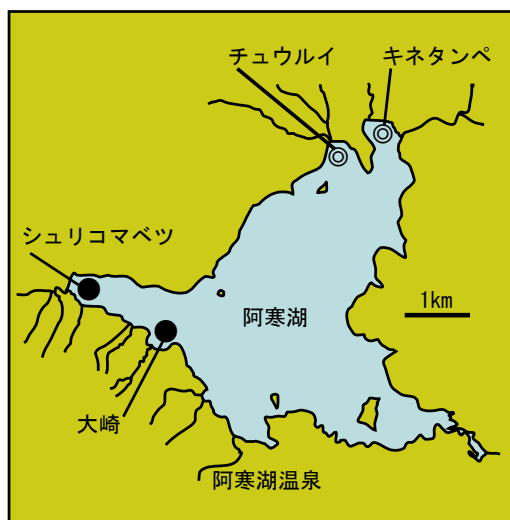
このため、釧路市教育委員会ならびに阿寒湖のマリモ保全推進委員会では、水草の増加がマリモにどのような影響を及ぼしているのか実態を明らかにすべく、平成 26 年度から 29 年度までの 4 年間、文化庁補助による天然記念物緊急調査を実施した。その結果、水草の増加によってチュウレイ湾内の波浪や湖水流動が緩和する方向に変わりつつあり、その影響がマリモの形状や群集構造の変化として現れている可能性が示唆される一方、マリモ群生地内の限定的な範囲において水草の試験的な除伐および除伐前後の湖水流動観測を実施した結果、除伐によって湖水流動が回復する傾向が確認されるとともに、湖水流動を緩和させている主要な水草種が明らかになるなど、今後のマリモ生育環境の保存・回復対策に資する科学的な知見が集積された。

はじめに

球状の集合を形成することで知られる阿寒湖のマリモは、1898年に初めてその存在が学会に報じられ、「毬藻」という和名を与えられた。以来、マリモはその形態の珍奇さから学術的にも社会的にも注目を集め、1921年には天然記念物(1952年から特別天然記念物)に、また1997年には環境省の「植物版レッドリスト」で絶滅危惧Ⅰ類に指定され、保護と活用が図られてきた。

阿寒湖でマリモが発見された当時、湖とその周辺域にはほとんど人為が加えられたことのない自然が広がり、マリモが発見されたシュリコマベツを初め、大崎・チュウレイ・キネタンペの4か所で球状集合の群生が知られていた。しかし、20世紀初頭から集水域における森林伐採や阿寒湖の水資源を利用した電源開発が始まると、間をおかずしてシュリコマベツと大崎の群生地が流入した土砂によって埋没したり、あるいは湖水面の低下によって干上がったなどして消滅し、北部のチュウレイおよびキネタンペを残すだけとなった(下図)。このため、マリモが絶滅してしまうのではないかと懸念が早くから持たれ、マリモの保護を最終目標とした様々な調査研究が進められた。

その中で、生物としてのマリモは北半球の高緯度地方に広く分布するものの、球状のマリモを産する湖沼は数えるほどしかないことが明らかとなり、そのうち球状のマリモが群生し、しかも30cmを超える大きさにまで育つ湖は、世界でただ一つ、阿寒湖しかないことが確認されている。さらに、球状のマリモは湖水汚濁や湖岸改変といった環境の変化によって容易に減少さらには消失してしまうため、世界的に見ると過去に生育が知られながら現存していない湖沼がほとんどであり、阿寒湖は幾度なく残存の危機を乗り越えつつ球状のマリモが生き延びてきた湖としても極めて希な存在となっている(マリモ保護管理計画2012より抜粋)。



阿寒湖における球状マリモの分布域

◎：現存している水域，●：20世紀前半の開発行為によって消滅した水域

(マリモ保護管理計画 2012 より転載)

事業報告

1. 事業内容

(1) 事業実施に至る経緯

特別天然記念物「阿寒湖のマリモ」を特徴づけるマリモ球状集合体が群生する阿寒湖北部のチュウレイ湾では、平成 22 年頃から沈水植物（以下、「水草」と称する）が急速に分布を拡大し始め、平成 25 年夏には浅瀬の全面を覆うまでになった（図 1-1-1）。また、これと並行して、マリモ分布面積の縮小（図 1-1-2）や球状集合体の破損が進んでおり、現状のまま事態を放置すれば、近い将来、マリモ群生地が水草群落に取って代わられる可能性が高く、対策が急務となっている。このため、釧路市教育委員会ならびに当市教委を含む官民 25 団体で構成される「阿寒湖のマリモ保全推進委員会」では、水草の増加がマリモにどのような影響を及ぼしているのかを明らかにするべく調査を実施するとともに、水草の抜除等、マリモ生育状況の回復を目的とした対策試験を実施することによって、マリモ生育環境の保存・回復手法の確立を目指すこととした。

(2) 調査体制

上述した「阿寒湖のマリモ保全推進委員会」の下部組織である「阿寒湖のマリモ保全対策検討委員会（マリモ科学委員会）」の委員が中心となって調査・検討にあたった（表 1-1-1）。また、文化庁、北海道教育庁、環境省等関係機関から指導・助言を得るとともに情報や認識の共有が図られるよう、担当者（表 1-1-2）に対して現地視察や会議等への派遣を求めるほか、一部の現地調査やデータ解析を専門業者に委託した（表 1-1-3）。

表 1-1-1 マリモ科学委員会委員

氏名	所属（職名）	専門・担当分野
佐藤 謙 （委員長）	北海学園大学（名誉教授）	希少植物の保護
平野高司	北海道大学大学院農学研究院（教授）	微気象
中山恵介	神戸大学大学院市民工学専攻（教授）	水域の流動環境
大原 雅	北海道大学大学院地球環境研究院（教授）	植物生態学
若菜 勇	釧路市教育委員会マリモ研究室（室長）	マリモの生態 （事務局兼任）

表 1-1-2 マリモ科学委員会オブザーバー

氏名	所属（職名）	期間
本間 暁	文化庁文化財部記念物課（主任文化財調査官）	H26～27 年度*
田才雅彦	北海道教育庁生涯学習推進局文化財・博物館課（主査）	
田中厚志	文化庁文化財部記念物課（文化財調査官）	H28～29 年度
藤原秀樹	北海道教育庁生涯学習推進局文化財・博物館課（主査）	
最上祥成	環境省釧路自然環境事務所阿寒湖自然保護官事務所 （自然保護官）	H26 年度
安藤祐樹	環境省釧路自然環境事務所阿寒摩周国立公園管理事務所 阿寒湖管理官事務所（国立公園管理官）	H27～29 年度

*平成 28 年度から委員に変更（29 年度まで）

表 1-1-3 調査委託会社

委託業者名	委託業務名	期間
いであ株式会社	球状マリモの生育状況悪化要因把握のための物理環境等調査	H26～29 年度
株式会社海洋探査	マリモ群生地における植生調査等潜水業務	H27～29 年度

（３）事業計画

事業期間は平成 26 年度から 29 年度までの 4 年間とする。なお、当初計画では、平成 26 年度から 28 年度までの 3 カ年で取り進める予定であったが、対象水域が阿寒国立公園の特別保護地区に含まれることから、水草の除伐に伴う希少種および周辺環境への影響等に関して、十分に把握する必要があるとの指摘を環境省から受けたため、水草除伐によって阿寒湖における生物多様性や希少種の存続が脅かされないことを確認すべく、調査期間を 1 年延長して、対象水域以外における水草の種構成や生育量・希少種の分布生育状況についても調査することとした。各年度における事業計画は下記のとおりである。

＜平成 26 年度＞

- ①マリモ生育現況の把握：マリモの生育現況の詳細を調査するとともに、生育状況と生

育環境の長期的な変遷を取りまとめ、生育環境の変化がマリモの生育状況に及ぼしてきた機序をインパクト・レスポンスフローとして整理

- ②マリモ減少原因の把握：マリモおよび水草の集団構造と光・底質・湖水流動等の環境項目に関する調査・観測結果を実施
- ③保存・回復手法の検討：水草の抜除試験等、マリモ生育状況の保存ならびに回復を目指した対策や手法を検討

<平成 27 年度>

- ①平成 26 年度の調査結果に基づいて、マリモ群生地に隣接する浅水域に試験区（幅 7m×長さ 40m）を設定し、水草の抜除試験を実施
- ②また、水草の抜除がマリモの生育環境の改善に寄与したかどうかを、底質や流動環境といった環境項目の観測結果から評価

<平成 28 年度>

- ①平成 27 年度の調査結果を踏まえ、マリモ群生地の沖合に繁茂する水草の抜除効果を検証すべく、群生地の沖合に試験区（幅 7m×長さ 100m）を設定して水草の抜除試験を実施するとともに、その効果を底質や湖水流といった環境項目の観測結果から評価
- ②また、試験区で確認された水草の生物多様性や種生物学的な希少性を評価すべく、周辺水域を含む湖内 4 カ所で水草の種構成を把握するための調査を実施

<平成 29 年度>

- ①当初計画では、水草抜除試験区の範囲を更に拡大し、環境項目の観測結果を基にその効果を検証する予定であったが、平成 28 年 8 月に襲来した台風 7 号の風波によって、マリモ群生地の水草の多く（推定湿重量 118.3t）が湖岸に打ち上げられ、マリモと水草の生育分布状況も大きく変化したことから、計画を変更して両者の分布現況を把握するとともに、底質・湖水流動等の環境項目に関する観測を実施
- ②一連の事業の成果を報告書としてとりまとめ、その中で対策の立案と実施に向けた課題を整理

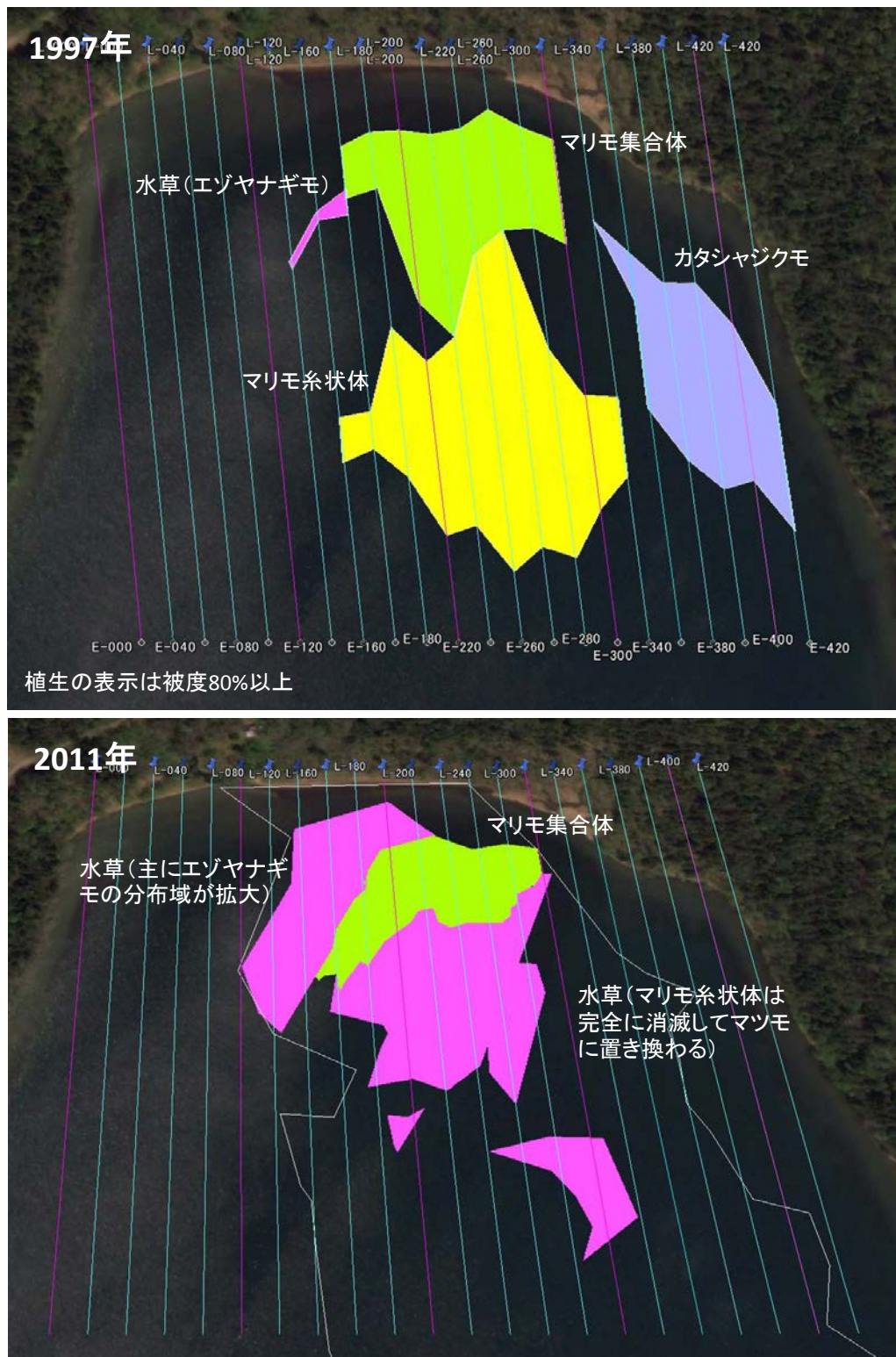


図 1-1-1 阿寒湖チュウルイ湾におけるマリモと水草の生育状況の長期変化

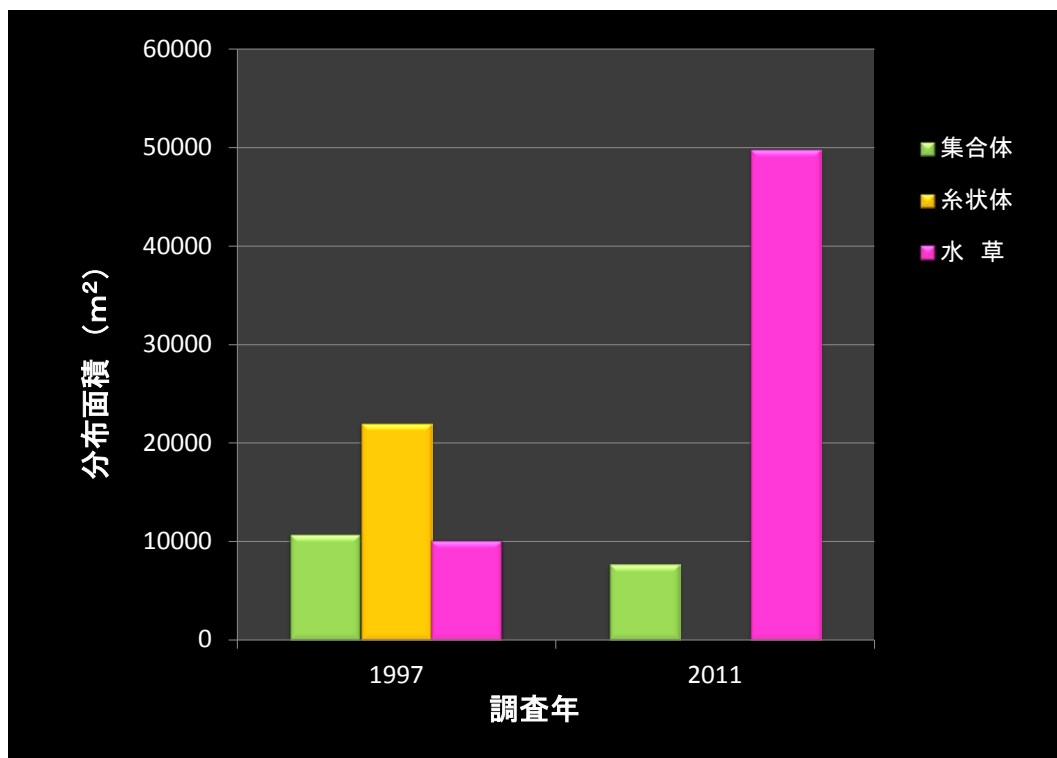


図 1-1-2 阿寒湖チュウレイ湾におけるマリモと水草の分布面積の長期変化

- チュウレイ湾では 1997 年から 2011 年の間に水草の分布面積が著しく拡大した（1997 年の水草面積には図 1-1-1 のカタシャジクモも加えてある）
- その影響によって、浅所に分布する集合体（被度 80%以上）の分布面積が 28%縮小するとともに、深所に分布する糸状体はほとんど消滅した
- 糸状体の従前の分布域の湖底堆積物中にマリモが腐死した残骸等は確認されず、同所の湖底直上を沖に向かう速い湖水流動が観測されていることから、水草の繁茂によって湖水の流動環境が変化し、沖合に移動した可能性が高い

2. 調査内容および結果

(1) 球状マリモの生育状況悪化要因把握のための物理環境等調査

①調査の目的

球状マリモが群生する阿寒湖チュウレイでは、近年になってマリモ以外の水生植物（以下、水草と称す）が急速に分布を拡大しており、マリモの球化に必要な風波による底層の往復流を減衰させることなどにより、球状マリモの生育状況を悪化させている可能性が指摘されている。このため、上記球状マリモの生育状況の悪化要因を把握するとともに、今後の対策の方向性ならびに効果把握のための指標設定を目的として、チュウレイ湾における物理環境等の調査を実施した。

②調査期間および地点

平成26年8月27日から9月12日までの17日間、チュウレイ湾の3地点(St.1~3: 図2-2-1)において流向・流速、クロロフィル、濁度、水温、光量子の連続観測を実施した。これと並行して、チュウレイ島南岸の1地点(St.6)で風向・風速の観測を実施した。また、8月27日に図2-1-1の3地点において湖底泥の採取を実施した。各調査地点の緯度経度は表2-1-1のとおりである。

表 2-1-1 調査地点の緯度経度および水深

地点名	緯度	経度	水深 (m)
St.1	43° 28.559′	144° 06.717′	2.1
St.2	43° 28.557′	144° 06.759′	2.1
St.3	43° 28.556′	144° 06.692′	2.1
St.6 (チュウレイ島)	43° 28.133′	144° 06.414′	-

③調査方法

a. 流向・流速

超音波ドップラー式3次元微流速計 VECTOR（ノルディック社製）による連続観測を行い、湖内底層（湖底上0.3m層）の流動環境を調査した（図2-1-2）。機器内部のメモリーが異なることから、St.1とSt.3では30分間隔で1回観測当たり16kHz、960データを取得し、St.2では60分間隔で1回観測当たり16kHz、160データを取得した。

b. クロロフィル・濁度・水温

クロロフィル・濁度計 ACLW-CMP (JFE アドバンテック社製) を用いて湖内底層（湖底上 0.3m 層）のクロロフィル、濁度、および水温の連続観測を行い、10 分間隔で 1 回観測当たり 1Hz、20 データを取得した（図 2-1-2）。

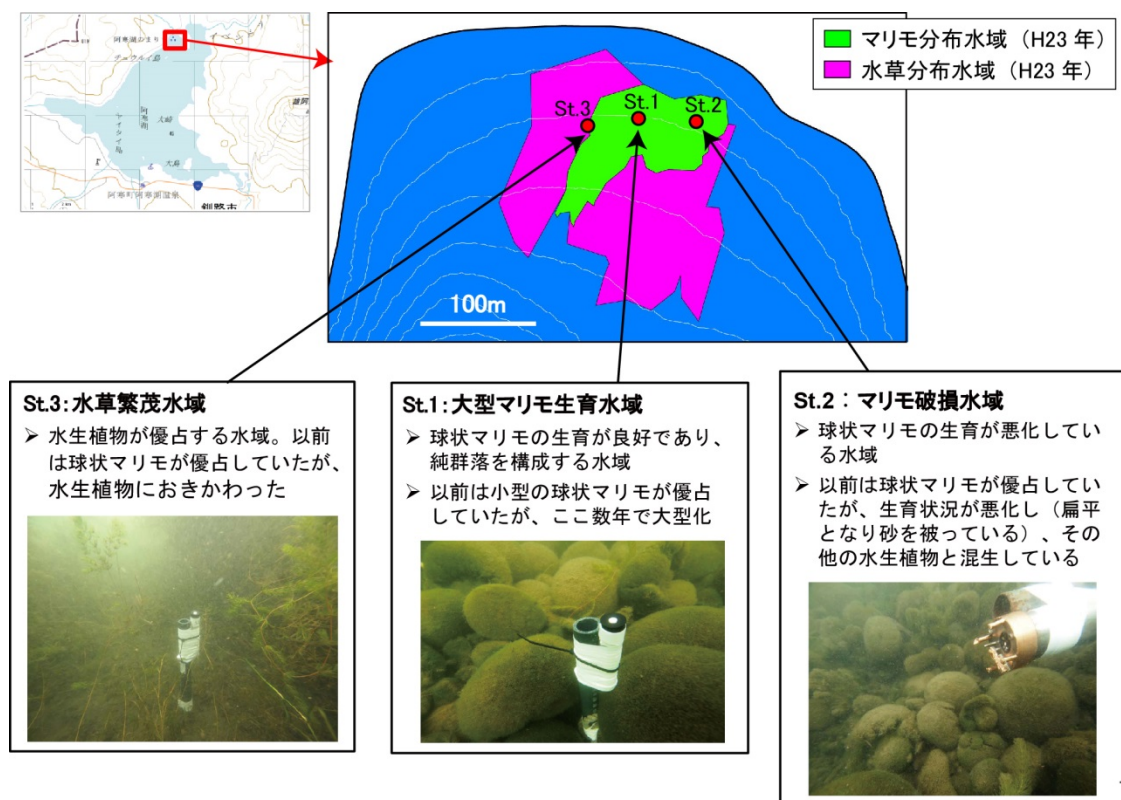


図 2-1-1 阿寒湖チュウリイ湾の観測地点および概況



図 2-1-2 阿寒湖チュウリイ湾における観測機器の設置状況。左：流向流速計、中：クロロフィル・濁度計、右：光量子計

c. 光量子

光量子計 DEFI-L（JFE アドバンテック社製）を用い、湖内底層（湖底上 0.3m 層）における光量子の連続観測を行った。データは 10 分毎に 1 データずつ取得した（図 2-1-2）。

d. 底質

アクリルコアサンプラー（約 ϕ 11cm）を用いて表層泥（表層から 10cm）を採取した。各地点で 3 本ずつ採取し、混合した試料を分析検体とした。採取後は速やかに粒度分布と強熱減量の分析に供した。分析方法は表 2-1-2 のとおりである。

表 2-1-2 底泥の分析方法

項目	分析方法	検体数
粒度分布	JIS A 1204	3
強熱減量	底質調査方法（平成 24 年 8 月）4.2	3

e. 風向・風速

チュウルイ島の南岸 1 地点において、風湖風速計 KDC-S4（コーナシステム社製）および観測用仮設ポールを設置し、水面上約 7.5m の高さで風向・風速の連続観測を行った（図 2-1-3）。データは 10 分毎に 1 データずつ取得した。



図 2-1-3 阿寒湖チュウルイ島における風向風速計の設置状況

④調査結果

a. 底質

St.1～St.3における底質の外観の特徴は、以下に箇条書きで示す通り、St.1とSt.2は比較的類似していたが、St.3は泥温が高い、植物片が多い、弱腐敗臭がするなど他2点とは異なる傾向を示した。

- ・泥 温：St.1とSt.2が同程度で（それぞれ19.4℃、19.5℃）、St.3が高い（26.8℃）。
ただし、底泥直上の水温はSt.3が最も低い（後述）
- ・臭 気：St.2は弱土臭であるが、St.1と大きな差は無い。St.3は弱腐敗臭で植物が枯死し、腐敗したものと考えられる。（マリモカ水生植物かは不明）
- ・泥 色：St.3のみオリーブ黒色であった。
- ・その他：St.2は粗砂が混ざり、St.3は植物片が多く見られた

また、各地点における底質の粒度組成及び強熱減量の結果から以下の特徴を確認した。

- ・粒度組成：St.1とSt.3はシルト・細砂が主体であるが、St.2は他の2地点よりも中砂や粗砂の割合が多く、中央粒径も大きい（図2-1-4、表2-1-3）
- ・強熱減量：St.1とSt.2の強熱減量および含水比は同程度だが、水草繁茂水域のSt.3は、他の2地点よりも含水比と強熱減量が高い（表2-1-3）

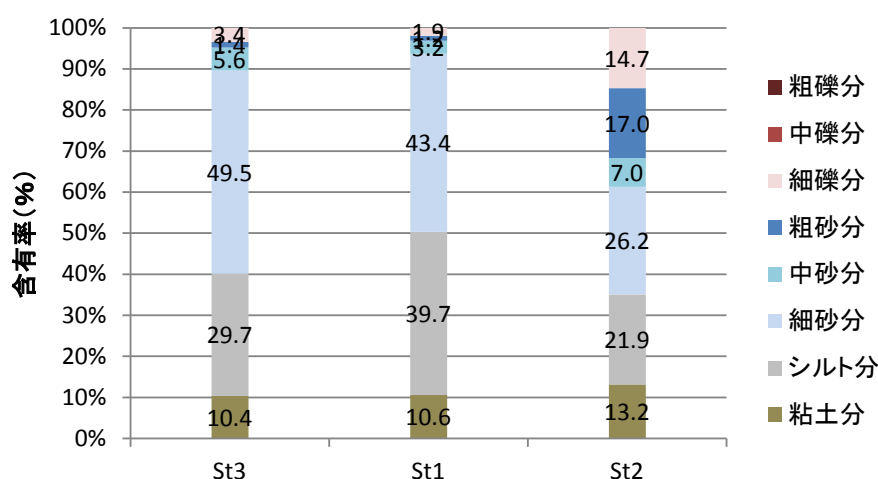


図 2-1-4 粒度組成 各画分における含有率

表 2-1-3 底泥の中央粒形、土粒子密度、含水比および強熱減量

測定項目	St.3	St.1	St.2
中央粒径 d_{50} (mm)	0.089	0.075	0.111
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.675	2.667	2.672
含水比 (%)	255.9	154.3	157.5
強熱減量 (%)	14.7	9.0	7.3

b. 物理環境（風向風速・クロロフィル・濁度・光量子・水温・流向流速）

物理環境調査から確認できた各地点の特徴を表 2-1-4 に示す。物理的条件から見た場合、St.1 と St.2 は類似した環境と考えられた。一方、St.3 は他 2 地点と比較して、南向きの流速ベクトルが卓越するなど、河川等の影響を受けている可能性が考えられ、波による振動流が必要な球状マリモにとっては、生育に適してない可能性がある。

表 2-1-4 各地点で確認された物理環境の特徴

	St.3	St.1	St.2
平均風速・風況ベクトル	平常時には日変動（昼間は南風、夜間は北風となる）が存在した。 9 月 4 日から 5 日と 9 月 9 日から、南風の卓越する期間が存在した。		
クロロフィル濁度	南風の卓越時に高い値を示した。アオコによる可能性も考えられるが、以下の理由から底泥の巻き上げによる可能性が高いと考えられる。 ・ アオコ監視記録からは当日のアオコ発生が観測されていない。 ・ 3 次元超音波流速計の結果から、流況が変化したタイミングで高いクロロフィル値と濁度を記録していることが確認される。		
光量子	・ 各地点ともに、平常時は同等程度の光量子が確認されている。 ・ 南風の卓越時には、各地点ともに、平常時に比べ低い光量子の結果となった。これは、濁度の上昇によるものと考えられる。		
水温	・ St.3 は他 2 地点と比べ、底面から 0.7m 地点と 0.3m 地点の水温に差があった。特に底面から 0.3m 地点の水温が低く、河川水等の影響を受けている可能性や躍層が形成されている可能性が考えられる。	・ St.1 と St.2 は、概ね 20℃前後の値を示しており、類似の傾向であった。 ・ St.1 と St.2 は、底面から 0.7m 地点と 0.3m 地点の水温がほぼ同じであった。	
流速・流況ベクトル	・ St.3 は他 2 地点と異なり、南風の卓越には関係なく、常に南向きの流れが卓越した。	・ 平常時には流速は小さかったが、南風の卓越時に平均流速が大きくなった。 ・ 南風の卓越時に南向きの流況ベクトルが卓越した。	

また、3次元微流速計を用いた底面軌道流速の測定結果によると、St.1及びSt.2では、通常は1cm/s前後の流速で推移し、南風が卓越した時期（9月4日）には流速（絶対値）が早くなるとともに、南方向へのベクトルの出現が多くなる傾向が確認できた（図2-1-5, St.1およびSt.2）。一方、St.3については、他2地点と傾向が異なり、常に1～2cm/s程度の流速（絶対値）を記録し、風向・風速に関係なく南東方向へのベクトルとなっていた（図2-1-5, St.3）。

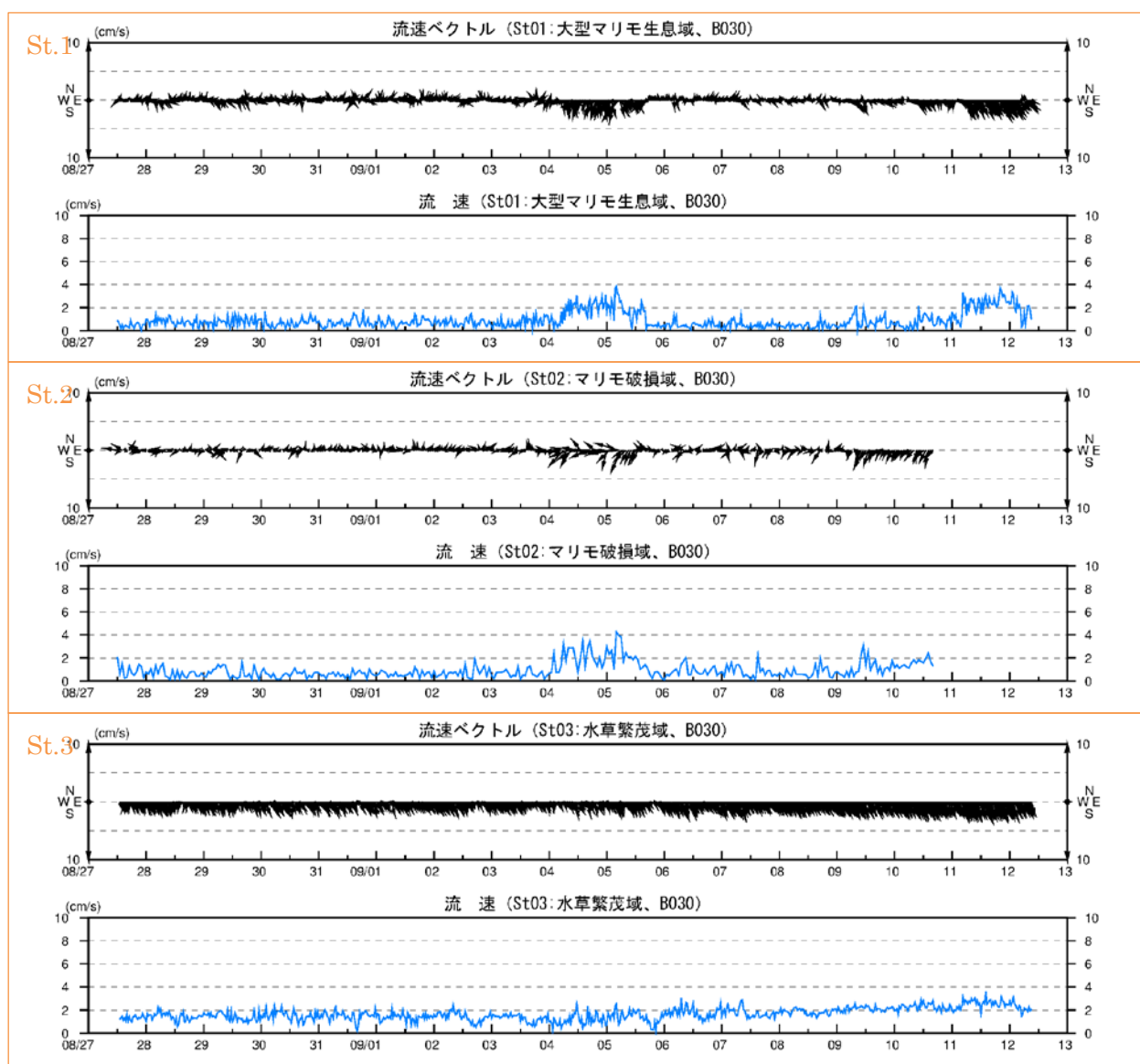


図 2-1-5 3次元微流速計の測定結果

⑤考察

a. マリモ生育環境の地点間相違に関する考察

本項では、風波による振動流が原因となって生じる地点間の違い（空間的な差異）に関する考察と、この地点間の違いがマリモの生育環境に影響を与える可能性について検討を行う。

前述の 3 次元微流速計によって 16Hz(1/16sec)で計測された湖底上 0.3m の流速データを用い、流速出現頻度を解析した。頻度解析は全期間(2014 年 8/27-9/12)と強風期間(2014 年 9/3-9/5)について実施し、合成流速と成分流速を対象とした。その結果、図 2-1-6 に示す通り、流速の頻度分布から検討すると、総じて近年マリモが破損・減少している St.2 の流速が弱い傾向にあった。すなわち、マリモの成長に必要な不可欠であるマリモを回転させる力が St.2 は他の 2 地点よりも弱い場となっている可能性が現地観測結果から示された。一方、水草繁茂域の St.3 については St.1 と同程度の流速分布傾向にあった。これ

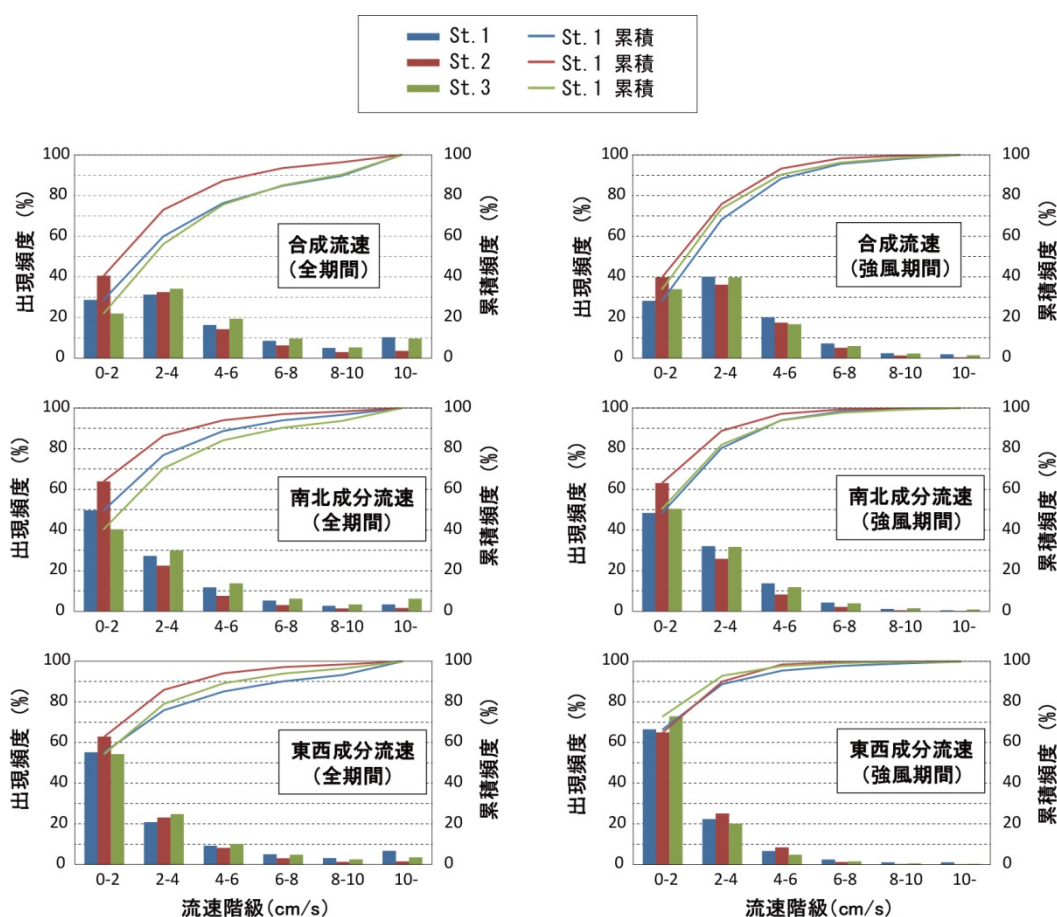


図 2-1-6 16Hz で取得した流速の出現頻度分布

全期間：2014 年 8 月 27 日～9 月 12 日、強風期：2014 年 9 月 3 日～9 月 5 日

は、St.3 が一方方向の流向ベクトルが卓越しており、振動は小さいものの平均流速が大きくなったことのほか、St.1 及び St.2 では球状マリモの生育により底面粗度が高くなり、マリモ直上の振動流が低減されたことによる可能性が考えられた。なお、St.2 の流速が弱い原因については、今後、周辺の地形や水草の繁茂状況など面的な情報から検討していく必要がある。

b. マリモ生育環境の時間的变化に関する考察

St.1、St.2 とともに、球状マリモの生育状況の変化を踏まえると、風波による底面直上の振動流が弱くなった可能性が考えられた。ここでは、この原因として以下の 2 点について可能性を検討した。

i) 阿寒湖の水位変化がマリモ生育に与える影響

阿寒湖の水位変化を確認したところ、2000 年ごろから 2006 年ごろまでは水位上昇の傾向にあるものの、30 年程度のスパンでは湖水位は安定的に維持されていた。また、2006 年以降に関しては、マリモ科学委員会委員の若菜 勇 氏への聞き取りによると、ほとんど水位の変化は生じていないとのことであり、球状マリモの生育に影響を与える程の水位変化は生じていないと考えられた。

ii) 水草がマリモ生育域の波・流れに及ぼす影響

水草の存在による波・流れの減衰に関する既往知見によると、大石ら（2010）は、沈水植物の波浪低減効果を明らかにすることを目的とし、霞ヶ浦湖岸 1/2 スケールの 2 次元大型水路を用いて波動場における模型植物による波高や遡上高さの減衰効果に着目した検討を行っている。その結果、沈水植物が波の浅水変形の起こり始める水深（本実験では $h=1.75\text{m}$ ）から汀線付近まで広く存在する場合、波浪低減が大きくなる（最大 42%）傾向にあること示されている。すなわち、水草が繁茂することにより波浪の伝播が抑制される可能性が示唆されている。

因みに、阿寒湖における近年の水草の生育状況は下記の通りである

生育高：水深 3m 以浅では水面まで伸長して繁茂する一方、水深 3m 以深は水面まで伸長していないが、正確な高さは不明

生育密度：沖合ではパッチ状に分布するが、水深が浅くなると高密度（被度 100%）で分布（特に水深 2.0～4.5m では水草密度が高い）

上記の既往研究事例とチュウレイ湾に繁茂した水草の生育状況から、水草がマリモ生育域の波浪と流れを減衰させている可能性が考えられた。そこで、上記の研究事例のデータ等を活用し、チュウレイ湾の水草がマリモ生育域の波浪と流れに及ぼす影響（減衰）

について、その程度も含めて概略検討した。検討に当たっては、既往研究事例の結果を踏まえて、以下の方針を設定した。

- i) チュウルイ島の観測風速と有効吹送距離から SMB 法でチュウルイ湾央部（水深 5m 付近）の沖波（波高、周期）を推定する
- ii) 上記沖波がマリモ生育域（水深 2m 付近）に到達した際の波高を浅水係数（岩垣ら 1981）を用いて推定する
- iii) マリモ科学委員会 中山恵介委員よりご提供頂いた水深 2m 付近の波高観測値（概略）は、沖波がマリモ生育域に伝播するまでに水草によるエネルギー損失（波高減衰）を受けた結果と仮定し、ii) の理論値との波高比を算出する

結果は図 2-1-7 に示すとおり、風波が水草繁茂域を伝播してマリモ生育域（水深 2m 程度）の水域に到達すると、約 7 割まで波高が減衰している可能性が示唆された。



図 2-1-7 チュウルイ湾の水草繁茂による波浪減衰の検討結果

⑥まとめ

以上から、球状マリモの時間的・空間的な変化（空間的差異）に関して以下が要因となっている可能性が考えられた。また、阿寒湖で生じたと考えられる球状マリモの生育環境変化（インパクト-レスポンス）を図 2-1-8 に示す。

a. St.1（大型マリモ分布域）と St.2（マリモ破損域）の空間的差異

St.2 では St.1 よりも、速度の大きい波の出現頻度が低い傾向にあった。これは St.1 よりも St.2 では風波が発達していないことに起因すると考えられるが、これらの違いを生じさせている要因については、周辺の地形や水草の繁茂状況など面的な情報から、今後のさらなる検討が必要である。

b. St.1・St.2 と St.3（水草分布域）の空間的差異

St.1・St.2 に比べて St.3 の平均流速は速く、流向もおおよそ一定の方を示していた。これは、以下に示す理由が考えられた。いずれにしても、河川水の影響を受けていると考えられ、球状マリモの生育にとっては、不適な環境となっていると考えられる。

- ・河川水の影響を受けて、南向きの流れが卓越し、絶対値で比較した場合に平均流速が速くなった
- ・St.1 及び St.2 は、球状マリモの存在により、底面の粗度が高くなり、マリモ直上の平均流速が低下した

c. St.1（大型マリモ分布域）及び St.2（マリモ破損域）の時間的变化

St.1 と St.2 においては、マリモ群落構造の変化がみられた。これは、水草の分布域拡大により波浪の低減および底面における振動流の低減が影響していると考えられる。底質の差異等は、これらの変化がみられた結果として生じた可能性がある。

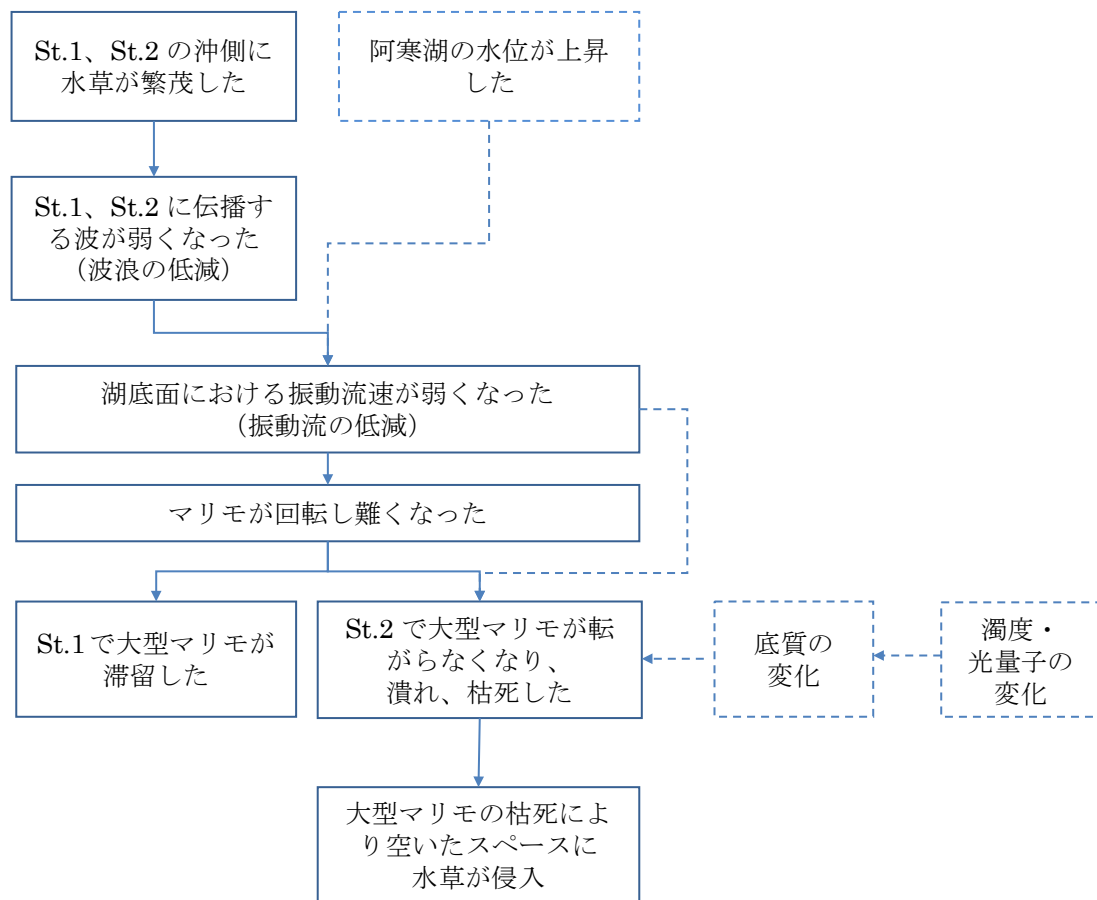


図 2-1-8 阿寒湖で生じたと考えられる球状マリモの生育環境変化
(インパクト-レスポンスフロー)

(2) 球状マリモの生育状況改善を目的とした水草の除伐試験 1

①調査の目的

前項に示したマリモの生育状況悪化要因調査の結果から、チュウレイ湾に繁茂した水草がマリモ生育域の波浪と流れを減衰させている可能性が示唆されたため、水草の除伐がマリモ生育環境の改善に寄与し得るかどうかを実証すべく、限定的な規模での除伐試験を実施するとともに、湖水流動等の物理環境項目の観測を実施する。また、除伐対象となる水草種を把握すべく、試験水域内に生育する水草の生物量や種構成を調査する。

②調査期間および地点

平成 27 年 7 月 28 日と 29 日の 2 日間にかけて、マリモ群生地に隣接する西側の水草帯に東西 7m、南北 40m の試験区を設けて水草の除伐を実施した（図 2-2-1）。また、除伐試験の前後約 10 日に相当する平成 27 年 7 月 17 日から 8 月 10 日までの 24 日間、水草除伐試験水域を含むチュウレイ湾の 5 地点（St.1～5）において流向・流速、および水温の連続観測を実施した。これと並行して、チュウレイ島南東岸の 1 地点（St.6）で風向・風速の観測を実施した。また、観測終了日の 8 月 10 日に図 2-2-1 の 3 地点（St.1, 3, 4）において湖底泥の採取を実施した。各観測地点の緯度経度および概況を表 2-2-1 および図 2-2-2 に示す。

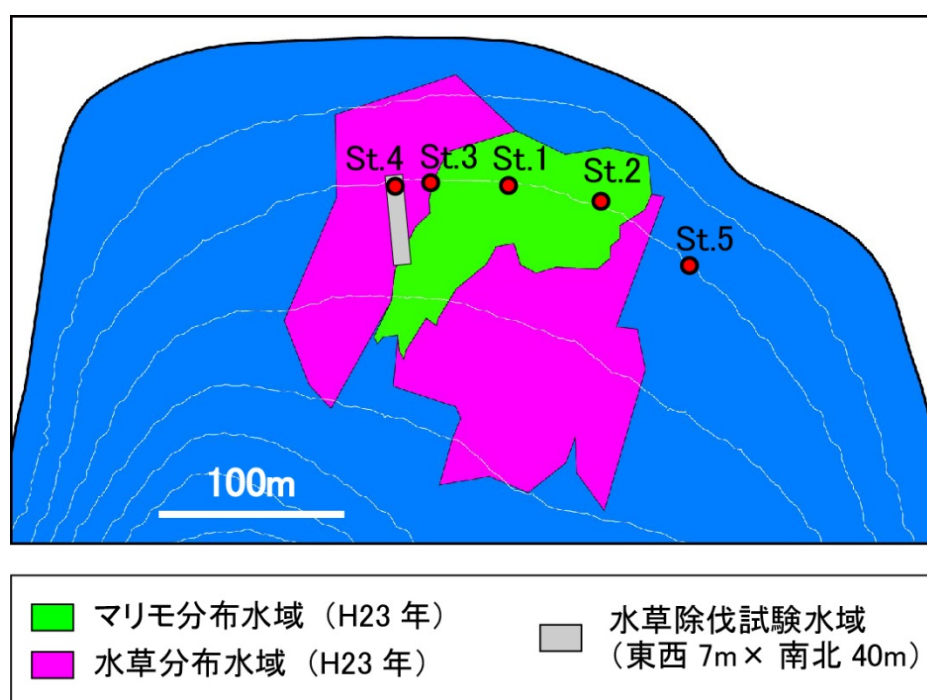


図 2-2-1 水草除伐試験水域および物理環境等観測地点

表 2-2-1 観測地点の緯度経度、水深および概況

地点名	緯度	経度	水深	概況
St.1	43° 28.560′	144° 06.719′	2.0m	マリモの生育状況が良好に変化した地点
St.2	43° 28.557′	144° 06.761′	2.0m	マリモの生育状況が不良に変化した地点
St.3	43° 28.556′	144° 06.694′	2.0m	従前は St.1 と同様に小型のマリモが分布していたが、水草が侵入してマリモが消失し、植生が置き換わった地点
St.4 (水草除伐試験水域)	43° 28.556′	144° 06.682′	1.8m	St.3 と同じ環境で、水草除伐試験水域内の地点
St.5	43° 28.524′	144° 06.793′	2.0m	水草やマリモなどの植生が見られない地点
St.6	43° 28.164′	144° 06.625′	0.6m	チュウレイ島の南東岸

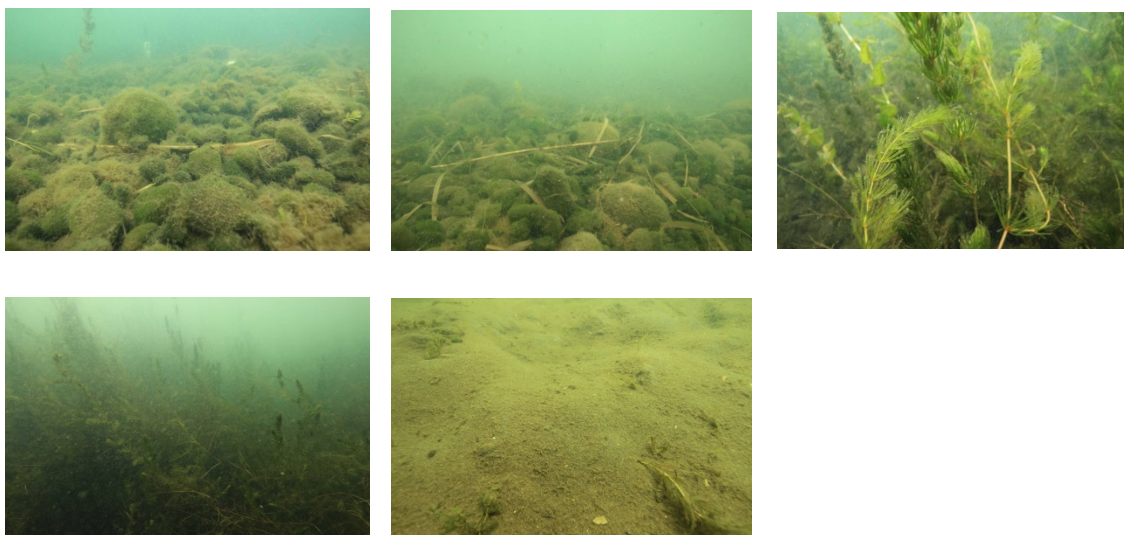


図 2-2-2 チュウレイ湾における各観測地点の湖底景観

左上 : St.1、中央上 : St.2、右上 : St.3、左下 : St.4、中央下 : St.5

③調査方法

a. ドローンによる空撮

水草の除伐前（7月17日）および除伐後（7月30日）にFantom 2（DJI社製）によるチュウルイ湾の空撮を実施し、試験区域の刈取り状況を確認すると共に、周辺の水草の分布状況を観測した。

b. 水草の除伐および生物量、種構成調査

チュウルイ湾に設定した東西7m、南北40mの除伐試験水域を、南北方向に5m間隔で8区画（区画A～H）に分け、各区画において潜水による素手での全量刈取りを実施した。刈り取った水草は動力船で湖岸に運搬した後、水草種ごとに分類して湿重量を電子秤で計測した。また、各区画において水草種ごとにサンプルを抽出し、その体長を計測した。（図2-2-3）。

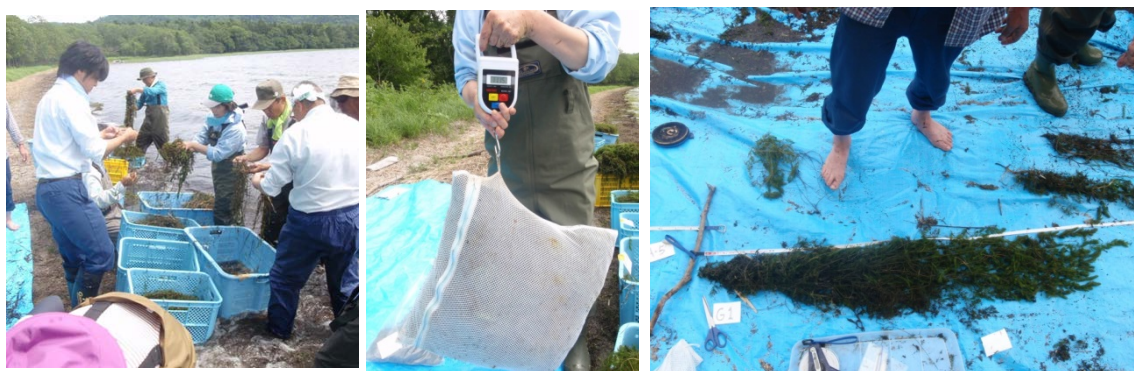


図 2-2-3 ボランティアによる水草調査の様子

左：水草種の仕分け、中央：湿重量の計測、右：体長の計測

c. 流向・流速

小型メモリー式電磁流向流速計 INFINITY-EM（JFEアドバンテック社製）を、前述したチュウルイ湾の5地点の底面上0.3m及び1.5mの2層にそれぞれ設置し、流向・流速及び水温の連続観測を行った。観測データは0.1秒間隔で2分間計測された値の平均値を10分毎に取得した。

d. 底質

アクリルコアサンプラー（約φ11cm）を用いて表層泥（表層から深さ10cmまで）を採取した。各地点で3本ずつ採取し、混合した試料を分析検体とした。採取後は速やかに粒度分布と強熱減量の分析に供した。分析方法は表2-2-2のとおりである。

表 2-2-2 底泥の分析方法

項目	分析方法	検体数
粒度分布	JIS A 1204	3
強熱減量	底質調査方法（平成 24 年 8 月）4.2	3

e. 風向・風速

チュウルイ島の南東 1 地点において、風湖風速計 KDC-S4（コーナシステム社製）および観測用仮設ポールを設置し、水面上約 7.5m の高さで風向・風速の連続観測を行った。データは 10 分間隔で取得した。

④調査結果

a. ドローンによる空撮

試験水域内における水草除伐前後の空撮画像を比較した結果、除伐試験水域のすべての水草が刈り取られていることを確認した（図 2-2-4）。

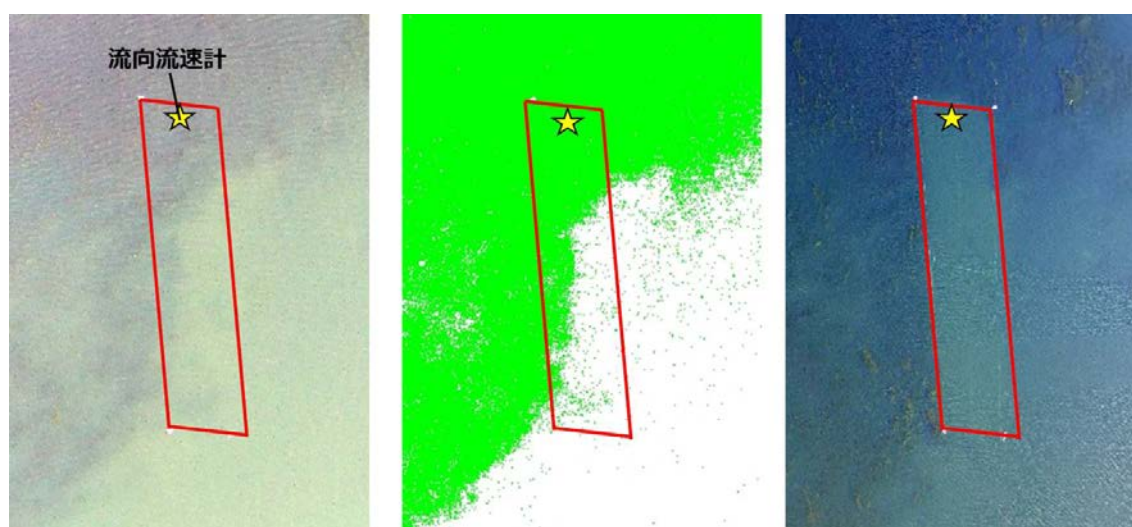


図 2-2-4 水草の刈取り前後に撮影した試験水域（赤線で囲った範囲）の空撮画像と解析結果 左：除伐前（7 月 17 日）、中央：除伐前の画像から半自動的に抽出した水草の範囲（緑色の部分）、右：除伐後（7 月 30 日、北海道大学 山田浩之先生提供）

b. 水草の除伐および生物量、種構成

試験水域内において除伐した水草の総湿重量は 708.9kg、試験水域内における水草の総被覆面積は 163.6m²、単位面積における水草の湿重量は 2.2kg/m²であった（表 2-2-3）。一方、各除伐区画（A～H）の水草湿重量には生育密度を反映してばらつきが見られ、岸から沖に向かうほど水草の生物量が減少する傾向を示した（図 2-2-5）。

また、試験水域内において 7 種的水草が確認されたが、主な構成種はこれまでの目視観察結果と同様にマツモとセンニンモであり、この 2 種が全体の約 97%を占めていた（表 2-2-4）。この結果を平成 9 年にチュウレイ湾で確認された水草種と比較した結果、今回の調査では平成 9 年に生育が確認されたエゾヒルムシロ、リュウノヒゲモ、カタシャジクモ 3 種的水草が確認できなかった。また、確認できなかった 2 種については、環境省レッドデータベースの絶滅危惧 I 類および準絶滅危惧に分類される種であった（表 2-2-5）。

一方、水草の体長はナガバエビモ・ヒロハノエビモを除いて 1.0～1.3m 程度であり、ホザキノフサモが最も体長が長く、次いでマツモ、センニンモ、エゾヤナギモの順となった（図 2-2-6）。水草の体長に対する湿重量の割合はマツモおよびナガバエビモが他種と比較して非常に大きかった（図 2-2-7）。

表 2-2-3 試験水域内における水草の生育状況

試験区	試験区面積 (m ²)	水草湿重量 (kg)	水草被覆面積 (m ²)	湿重量/試験区面積 (kg/m ²)	水草被度 (%)
A	44.9	222.3	44.9	4.9	100.0
B	42.7	127.3	42.2	3.0	98.7
C	40.9	107.7	30.2	2.6	73.7
D	40.5	55.9	16.7	1.4	41.1
E	39.4	30.3	13.5	0.8	34.3
F	37.4	59.2	9.6	1.6	25.7
G	35.5	32.7	3.4	0.9	9.6
H	33.7	73.5	3.1	2.2	9.2
Total	315.2	708.9	163.6	2.2	51.9

※水草被度：（水草被覆面積 / 試験区面積）× 100

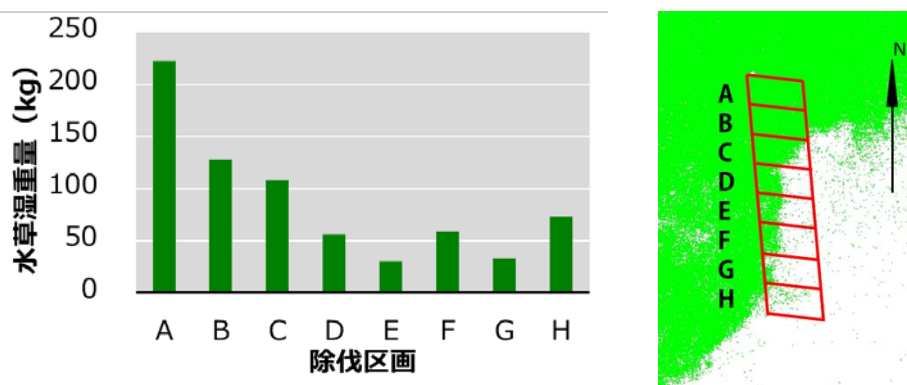
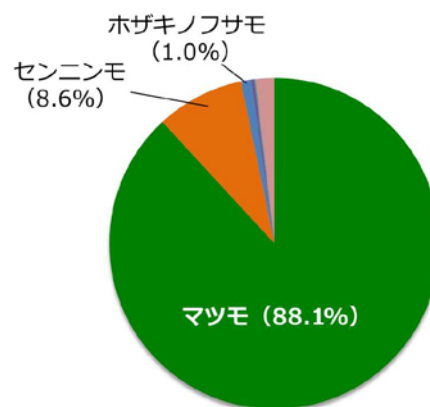


図 2-2-5 各区画で除伐した水草の湿重量

表 2-2-4 試験水域内における水草の総湿重量および総面積

水草種	湿重量	
	kg	%
マツモ	624.8	88.14
センニンモ	61.1	8.62
ホザキノフサモ	7.0	0.99
エゾヤナギモ	2.0	0.28
ナガバエビモ	0.9	0.13
イバラモ	0.2	0.02
ヒロハノエビモ	0.004	0.001
残渣	12.89	1.82



※残渣：切れ藻などの判別不能なもの

表 2-2-5 本調査で確認した水草種と平成 9 年の調査で確認された水草種との比較

＋：確認 －：未確認 (＋)：他の調査地点で確認

水草種	平成 9 年	平成 27 年(本調査)	環境省 RDB 分類
エゾヒルムシロ	＋	－	
ヒロハノエビモ	＋	＋	
ナガバエビモ	＋	＋	絶滅危惧 IA 類 (CR)
センニンモ	＋	＋	
リュウノヒゲモ	＋	－	準絶滅危惧 (NT)
イバラモ	(＋)	＋	
マツモ	＋	＋	
ホザキノフサモ	＋	＋	
カタシャジクモ	＋	－	絶滅危惧 I 類 (CR＋EN)

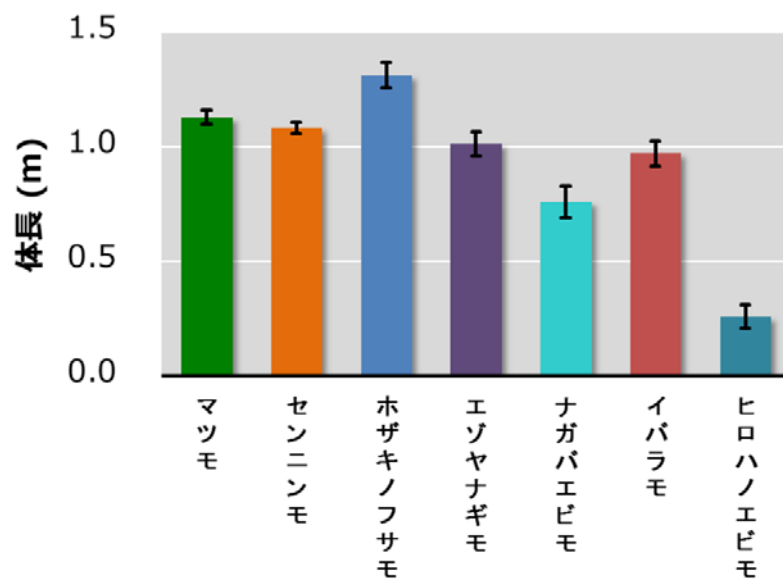


図 2-2-6 試験水域内に出現した水草種の平均体長

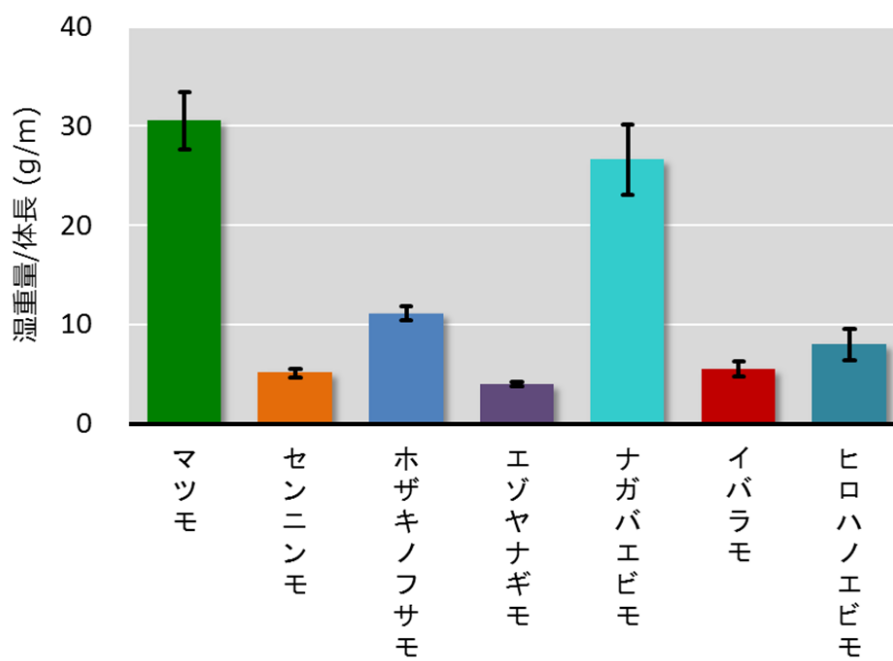
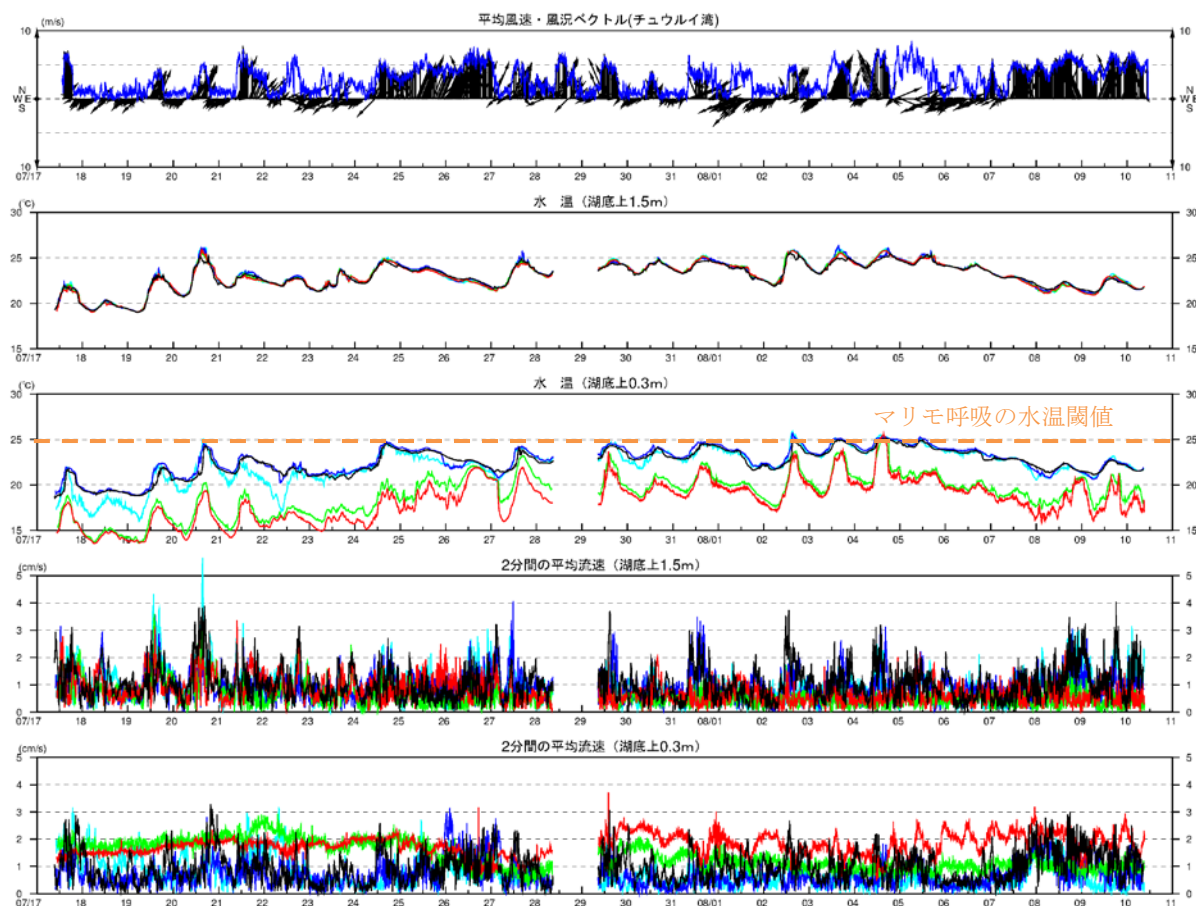


図 2-2-7 各水草種の単位体長あたりの湿重量

c. 物理環境

観測期間中の平均流速と水温の時間変化を図 2-2-8 に示す。平均風速および風速ベクトル観測の結果から、水草の除伐前後において、マリモの回転に要される風速 5m 以上の風が観測されていることを確認した。



凡例)

- : St.1 (マリモ生育良好水域)、— : St.2 (マリモ生育悪化水域)
- : St.3 (水草繁茂水域)、— : St.4 (水草除伐試験水域)
- : St.5 (マリモ・水草の生育水域外)

図 2-2-8 物理環境観測結果 (地点間比較)

d. 底質

図 2-2-1 の 3 地点 (St.1, 3, 4) で採取した底質の粒度組成・強熱減量・含水率を図 2-2-9 に示す。各分析項目の特徴は以下に箇条書きで示したとおりである。

- ・粒度組成：各地点ともシルト・細砂が主体であったが、水草繁茂水域 (St.3 および St.4) ではマリモ分布域 (St.1) と比べて粘土分の割合が多い
- ・強熱減量：マリモ分布域 (St.1) よりも水草繁茂水域 (St.3, 4) の方が高い
- ・含 水 比：強熱減量と同様に、マリモの分布域 (St.1) よりも水草繁茂水域 (St.3 および St.4) の方が高い

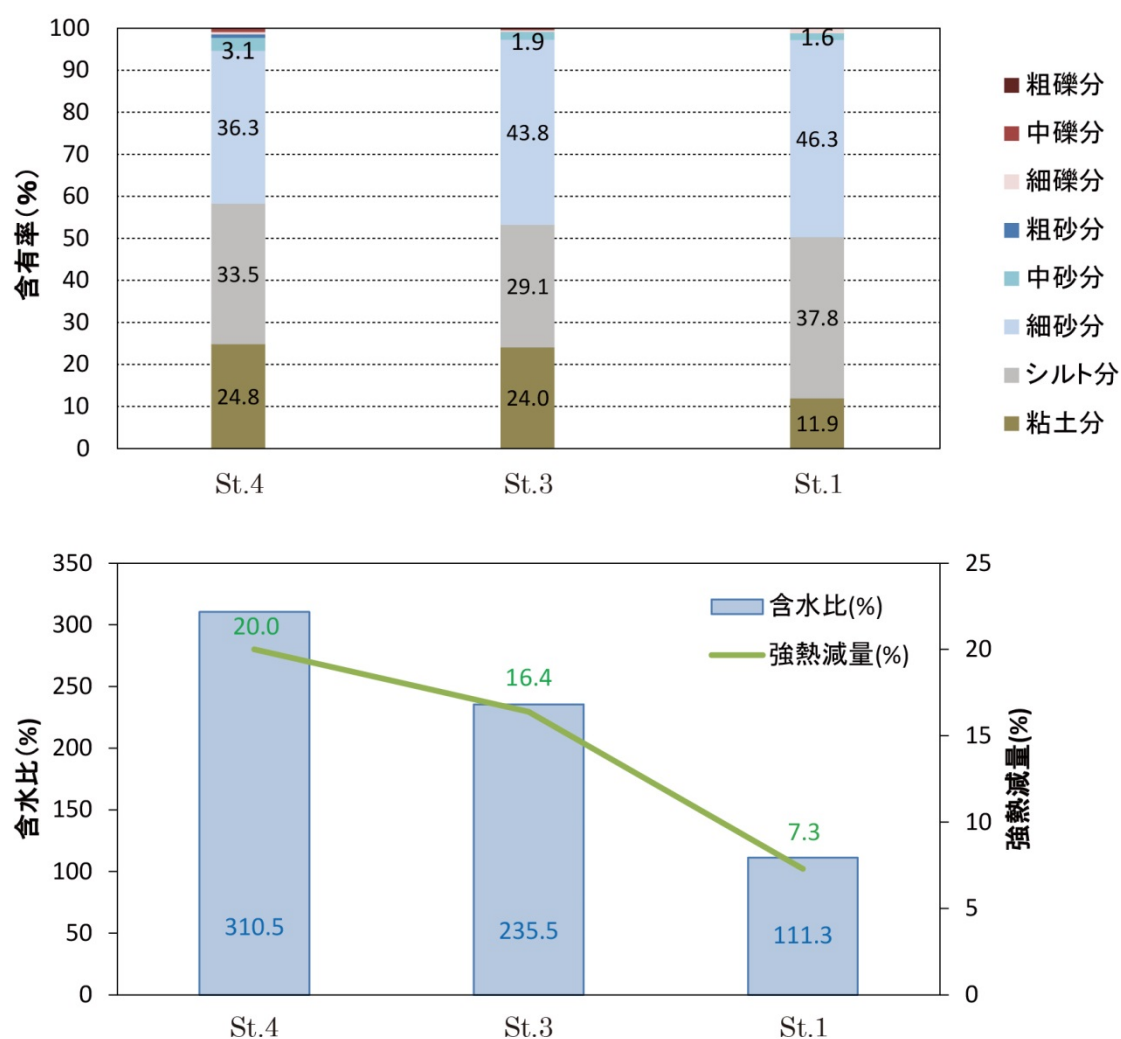


図 2-2-9 底質調査結果

⑤考察

a. 水草の除伐が球状マリモの生育環境に与える影響の検討

水草除伐前後における流向・流速観測で得られた結果をもとに流動構造を解析し、水草の除伐が球状マリモの生育環境に与える影響に関する検討を行う。中山ら(2015) は阿寒湖チュウレイ湾での湖上風と波浪の連続観測およびマリモの動きを撮影したビデオ画像の解析を行って、次のような知見を得ている。

- ・マリモの回転は波の進行方向とは逆方向
- ・風速とマリモの回転角速度の関係を整理すると、風速が速くなるとマリモが振動・回転する傾向にあり、その閾値は湖上 10m の風速でそれぞれ 5 m/s (振動)、7m/s (回転) である
- ・マリモの回転を引き起こす風向は主に南南東
- ・強非線形共分散内部波モデル (FSI model) を適用した結果、波浪によってマリモの回転と同じ方向の水粒子の運動が底面近傍で発生している
- ・理論的な波の軌道運動と逆方向の運動が底面に生じるメカニズムは未解明であるが、湖上を連吹する風によって生じる波浪がマリモを回転させている可能性がある

波の伝播に伴う水粒子運動の軌跡は、以下に示すように波の進行方向に対して時計周りに楕円軌道で運動している。水平方向の軌道の振幅 u は次式で表され、海底面に近づくに従って小さくなる。前述した中山ら (2015) の研究でもマリモ回転運動と波浪の関係性が示唆されていることから、波による振動流速 (軌道流速) に着目した解析を行う。

$$\hat{u} = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh(2\pi(h+z)/L)}{\sinh(2\pi h/L)}$$

ここで、 H と L は水深 h での波高と波長、 T は波の周期、 z は平均水面から上方を正にとった鉛直座標である。本調査では、以下の方法で 2 分間の平均的な振動流速振幅を 10 分毎に算出し、マリモが回転を始める風速：7m/s 以上、風向：南南東 (SSE) に着目した解析を実施した。その際、各地点における振動流速が、除伐前後においてマリモの生育が良好な水域 (St.A) の値にどれだけ近づくか、という視点で再整理した。

軌道流速振幅 \hat{u} の解析にあたって、まず、東西方向成分流速 U と南北成分流速 V を平均流成分 (\bar{U} , \bar{V}) と変動成分 (U' , V') に分解する。

$$U = \bar{U} + U'$$

$$V = \bar{V} + V'$$

式(3.4)

次に、変動成分の流速を使って、以下の共分散法により主波向 θ を推定する。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\overline{UV'}}{U'^2 - V'^2} \quad \text{式(3.5)}$$

さらに、波向の分だけ変動成分流速ベクトルを回転させて、主方向の流速変動 u を求める。軌道流速振幅 \hat{u} については、理想的な正弦波形の場合には流速波形の標準偏差は振幅の $1/\sqrt{2}$ となることを踏まえ、流速変動 u の標準偏差の $\sqrt{2}$ 倍を軌道流速振幅 \hat{u} として評価した。

風向が南南東（SSE）の時における平均風速と振動流速振幅の相関関係の一例（St.1 および St.4）を図 2-2-10 に示す。水草除伐前後で気象条件が異なるためデータ数やデータのバラつきは異なるものの、各地点とも風速と振動流速に明瞭な相関関係があることが分かる。

また、これらの図から得られた指数関数の相関式から、水草除伐前後における各風速時の振動流速を推定した（表2-2-5）。湖底の粗度の影響を受け難い湖底上 1.5m における風速 7m/s の際の振動流速に着目すると、水草除伐前の St.4（除伐試験水域）の振動流速（16.18cm/s）は、マリモ生育良好水域に相当する St.1 の振動流速（18.24 cm/s）の 9 割程度であるが、水草除伐後における St.4 の振動流速（19.54cm/s）は、St.1 の振動流速（20.27cm/s）に近い値まで回復していることが分かる。一方、水草繁茂水域に相当する St.3 の振動流速は、水草除伐前では St.4 よりもやや強いものの、除伐後は弱くなっている。同様に、マリモの破損が進行している St.2 についても St.1 と比べて振動流速が弱い傾向にある。以上の結果から、振動流速の強さがマリモの生育状況に何らかの影響を与えている可能性が示唆された。

表2-2-5 相関式から推定した風速別の推定振動流速の地点間比較

赤字（St.4）は水草除伐試験水域における推定振動流速

風速 (m/s)	除伐前 (湖底上1.5m)					除伐後 (湖底上1.5m)				
	推定振動流速 (cm/s)					推定振動流速 (cm/s)				
	St.4	St.3	St.1	St.2	St.5	St.4	St.3	St.1	St.2	St.5
0	0.96	0.92	1.12	1.03	1.06	0.89	0.97	1.10	1.02	1.11
1	1.43	1.39	1.66	1.54	1.59	1.39	1.48	1.66	1.54	1.68
2	2.15	2.10	2.48	2.30	2.38	2.15	2.27	2.52	2.32	2.55
3	3.22	3.18	3.70	3.43	3.55	3.35	3.46	3.82	3.48	3.85
4	4.82	4.80	5.51	5.12	5.32	5.21	5.29	5.78	5.24	5.83
5	7.21	7.27	8.21	7.64	7.96	8.09	8.09	8.75	7.88	8.82
6	10.81	10.99	12.24	11.40	11.91	12.58	12.36	13.26	11.84	13.34
7	16.18	16.63	18.24	17.00	17.82	19.54	18.89	20.07	17.81	20.19
8	24.24	25.16	27.18	25.37	26.66	30.38	28.86	30.40	26.78	30.54
9	36.31	38.07	40.51	37.84	39.89	47.21	44.10	46.03	40.27	46.20
10	54.38	57.59	60.38	56.45	59.69	73.38	67.40	69.71	60.56	69.90
平均風速7m/s時の振動流速の強さ（St.1を1.00とした時の割合）										
St.1	0.89	0.91	1.00	0.93	0.98	0.97	0.94	1.00	0.89	1.01

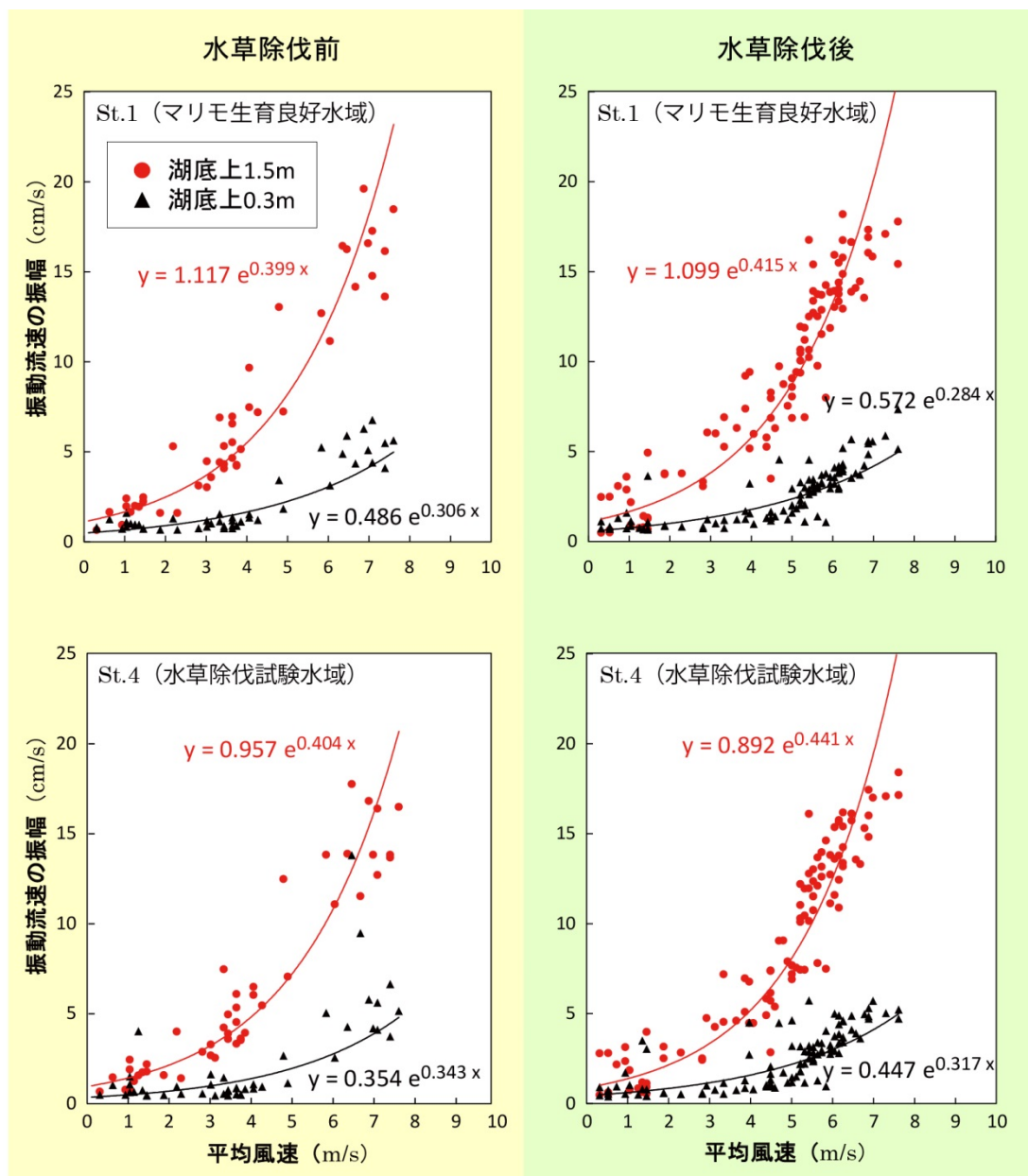


図 2-2-10 湖上 10m の平均風速と波の振動流速の相関関係
St.1 と St.4、風向は南南東 (SSE)

⑥まとめ

本調査によって得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 除伐試験水域内における水草の生物量は、湿重量約 0.7t、面積 163.6m²であった
- ・ 除伐試験区域内に出現した水草の種数は合計 7 種であったが、全体の約 97%がマツモとセンニンモで占めていたことから、これら 2 種がマリモ生育環境回復のための主な除伐対象種となりうることが示された
- ・ 平成 9 年の水草調査結果と比較して、今回の調査では 3 種（うち 2 種は RDB 種）の水草が確認できなかったことから、同地域の水草の種構成が単純化（多様性が劣化）している可能性が示唆された
- ・ 体長あたりの重量はマツモが他種と比較して圧倒的に高く、水中の空間をほぼ独占していることから。同種の繁茂が水中の流動環境（水路形成等）に強く影響を及ぼしていると考えられた
- ・ 水草の除伐効果を検証するため、水草除伐前後における流動環境観測を実施し、湖上風速（風向 SSE）と振動流速を解析した結果、水草の除伐によって、湖底上 1.5m の振動流速が強くなる傾向が見られた。具体的には、平均風速 7m/s 時の St.4（水草除伐試験水域）における水草除伐前の振動流速は、St.1（マリモ生育良好水域）の約 9 割であったが、水草除伐後は St.1 に近い値まで振動流速が回復していた
- ・ St.2（マリモ生育不良水域）は St.1 に比べて振動流速が弱い傾向にあり、マリモの生息環境として波の振動流速の強さが何らかの影響を与えている可能性が考えられた
- ・ 一方、本節では詳しく述べなかったが、湖底上 0.3m で観測した結果は、上記の湖底上 1.5m の結果にみられたような水草除伐前後の振動流速の変化が認められなかった。これは、マリモや水草などの底面被覆状況等により、地点によって底面粗度が異なることや、粗度の影響で振動流速が小さくなり水草除伐の効果が見え難いこと、などの理由が挙げられる。しかし、理論的には湖底上 1.5m の振動流速が強まれば、マリモ直上の湖底近傍の流速も強くなるものと考えられる

また、本調査によって今後の水草対策に有用と思われる以下の知見が得られた。

- ・ 水草除伐によってマリモの回転駆動力となる波の振動流速が回復する可能性
- ・ 「湖底上 1.5m の振動流速」が水草除伐効果の検証に対する即時性の高い指標となる可能性
- ・ 波の振動流速は（本調査で採用した）電磁流速計による 0.1 秒間隔の連続観測で計測可能
- ・ 水草除伐効果の当面の目標として、平均風速 7m/s 時の「湖底上 1.5m の振動流速が 18cm/s 以上」を確保

(3) 球状マリモの生育状況改善を目的とした水草の除伐試験 2

①調査の目的

平成 27 年夏に、水草の除伐がチュウレイ湾の湖水流動の改善に寄与し得るかどうかを実証すべく、マリモ群生地に隣接する浅水域に試験区（東西 7m、南北 40m）を設け、水草の除伐作業と、作業を挟んで湖水流動等がどのように変化したのか各種観測を実施した結果、水草の除伐によって試験区における湖水流動がマリモの群生域と同程度まで改善したことを示すデータが得られ、内容を精査したマリモ科学委員会において、水草の除伐が有効な対策となり得る可能性が示唆された。

こうした進捗を踏まえ、同委員会から「水草はマリモ群生地の沖側にも高密度で生育しており、沖合からチュウレイ湾内に向けて入り込む風波に対する影響が大きいと予想されているため、この水域でも水草の除伐効果を検証する必要がある」との提言があったため、マリモ群生地の沖側で水草除伐試験を実施することとした。

また、平成 27 年に実施した除伐試験の結果、試験区に生育する水草の大半はマツモとセンニンモで、水草が繁茂する以前の調査で確認されていた車軸藻類などの希少種が消失するとともに、種数も減少している現状が判明し、水草の増加が同水域における生物多様性にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。このような知見を踏まえ、今回の調査では、阿寒国立公園の特別保護地区に含まれるマリモ群生水域の生物多様性の保全という視点も加え、水草の除伐が周辺の植生や環境に対してどのような影響を及ぼすのか、除伐対象となった水草は湖内の他水域にも生育しているのかなど、保全対策を講ずるにあたって考慮・検討すべき案件についても合わせて調査を実施した。

②調査期間および地点

平成 28 年 7 月 31 日から 8 月 2 日までの 3 日間にかけて、マリモ群生地の沖合（水深 2.8~3.6m）に位置する水草帯に東西 7m、南北 100m（面積 700m²）の試験区を設けて水草の除伐を実施した（図 2-3-1）。その際、試験水域の沖側に水草を残すことで、水路形成に伴う流況の急激な変化が起きないように配慮した。また、除伐試験の前後約 10 日に相当する平成 27 年 7 月 21 日から 8 月 10 日までの 20 日間、水草除伐試験水域の南北延長線を含むチュウレイ湾の 3 地点（St.1, 2, 4）において流向・流速、および水温の連続観測を実施するとともに、St.1 および St.2 の沖側において波高の連続観測を実施した。これと並行して、チュウレイ島南東岸の 1 地点（St.6）で風向・風速の観測を実施した。また、観測終了日の 8 月 10 日に図 2-3-1 の 4 地点（St.1~4）において湖底泥の採取を実施した。各観測地点の緯度経度および概況は表 2-3-1 のとおりである。

さらに、前回および今回の水草除伐試験水域で確認された水草種が阿寒湖の他水域にも生育しているかどうかを確認するため、7 月 11 日に阿寒湖西部のシュリコマベツ湾で、10 月 5 日に阿寒湖北部のキネタンベ湾および南東部の沿岸で水草種の調査を実施した（図 2-3-2）。各調査地点の緯度経度を表 2-3-2 に示す。

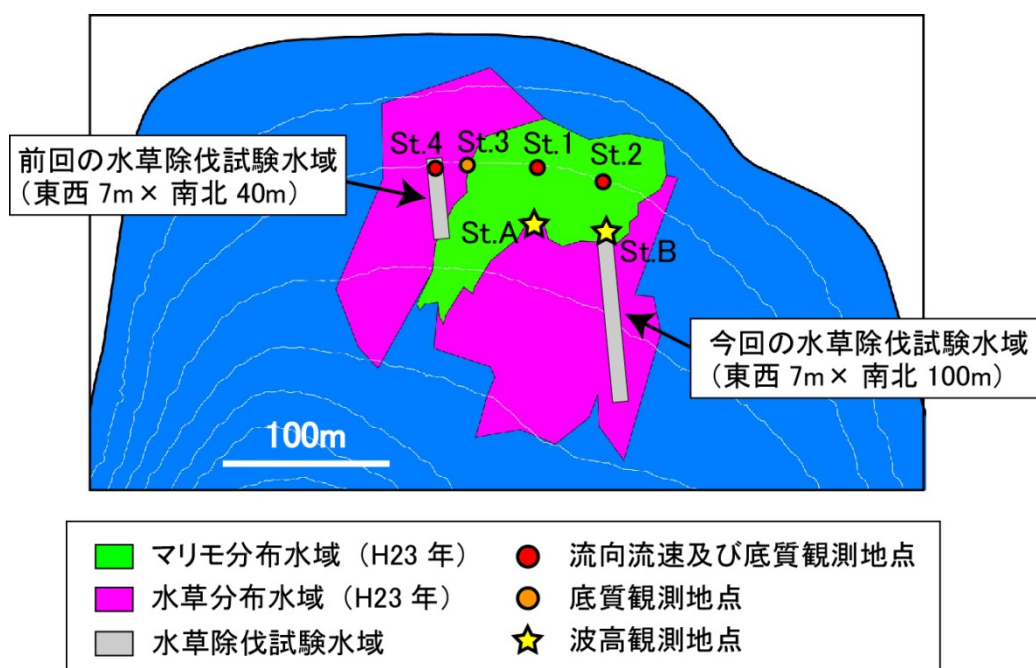


図 2-3-1 水草除伐試験水域および物理環境等観測地点

表 2-3-1 観測地点の緯度経度、水深および概況

地点名	緯度	経度	水深	概況
St.1	43° 28.557′	144° 06.741′	2.1m	マリモの生育状況が良好に変化した地点
St.2	43° 28.555′	144° 06.747′	2.1m	マリモの生育状況が不良に変化した地点で、今回の水草除伐試験水域の南北延長線上に位置する
St.3	43° 28.557′	144° 06.694′	2.1m	従前は St.1 と同様に小型のマリモが分布していたが、水草が侵入してマリモが消失し、植生が置き換わった地点
St.4	43° 28.556′	144° 06.680′	2.1m	平成 27 年夏に水草の除伐試験を実施した地点
St.A	43° 28.540′	144° 06.718′	2.9m	St.1 から南に 50m 離れた地点
St.B (水草除伐試験水域)	43° 28.538′	144° 06.752′	2.9m	St.2 から南に 50m 離れた地点で、今回の水草除伐試験水域の起点に相当
St.6	43° 28.161′	144° 06.510′	0.6	チュウレイ島の南東岸

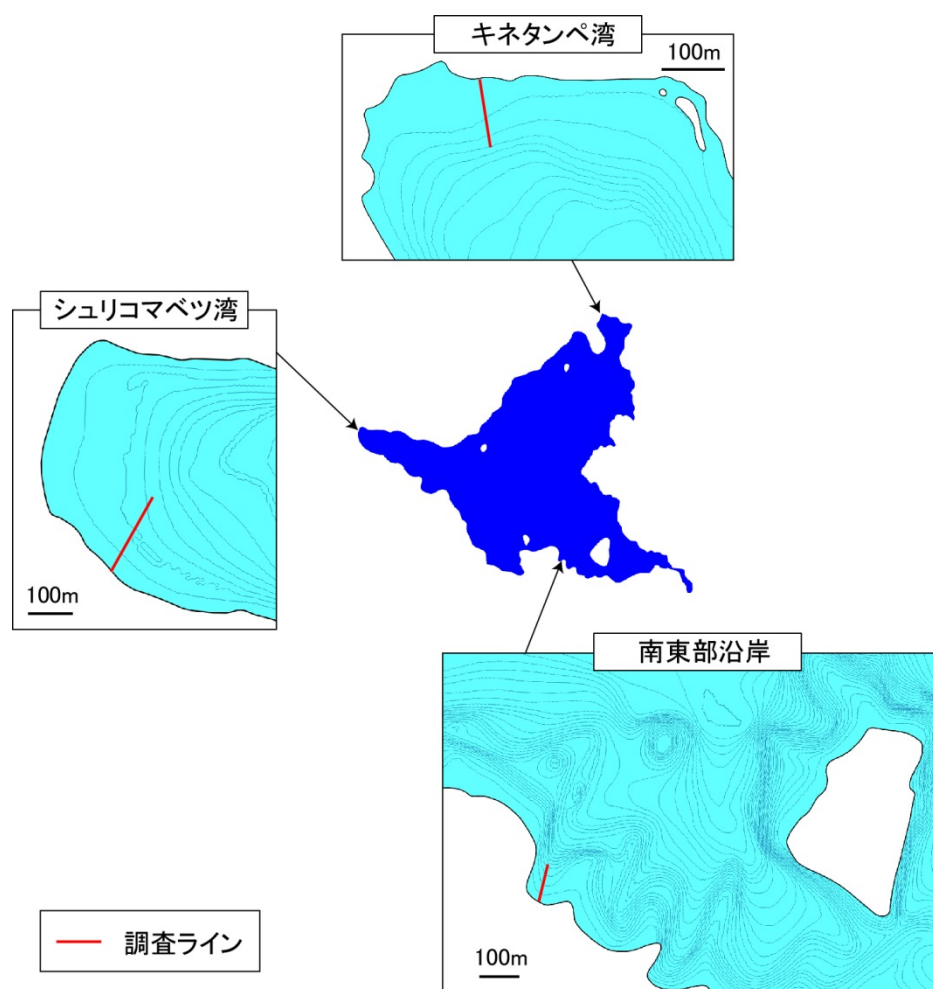


図 2-3-2 水草種の調査水域および調査ライン

表 2-3-2 水草種調査ラインの緯度経度および水深

水域名	調査ライン始点		調査ライン終点		水深
	緯度	経度	緯度	経度	
シュリコマベツ湾	43° 27.270′	144° 03.597′	43° 27.355′	144° 03.689′	0-3.5m
キネタンペ湾	43° 28.785′	144° 07.097′	43° 28.740′	144° 07.104′	0-3.0m
南東部沿岸	43° 26.172′	144° 06.389′	43° 26.219′	144° 06.401′	0-3.5m

a. チュウルイ湾における水草の除伐および生物量、種構成調査

マリモ群生地の中側に設定した東西 7m、南北 100m の除伐試験水域を、南北方向に 5m 間隔で 20 区画（区画 A～T）に分け、各区画において潜水による素手での全量刈取りを実施した。刈り取った水草は動力船で湖岸に運搬した後、水草種ごとに分類して湿重量を電子秤で計測した。また、各区画において水草種ごとにサンプルを抽出し、その体長を計測した。

b. チュウルイ湾以外の阿寒湖水域に生育する水草種の調査

シュリコマベツ湾、キネタンペ湾、および南東部沿岸の 3 水域において、湖岸から水深 3.0～3.5m の位置まで調査ラインを設定し、ダイバーが目視で調査ライン周辺に出現する水草種を調査した。

c. 流向・流速

小型メモリー式電磁流向流速計 INFINITY-EM（JFE アドバンテック社製）を、前述したチュウルイ湾の 3 地点の底面上 1.5m の 1 層にそれぞれ設置し、流向・流速及び水温の連続観測を行った。観測データは 0.1 秒間隔で 2 分間計測された値の平均値を 10 分毎に取得した。

d. 波高

超音波・水圧センサー併用型波高計 WAVE-HUNTER08-Σ（アイオーテック社製）を、前述したチュウルイ湾の 2 地点の湖底に設置して波高や流速等の連続観測を行った。観測はバースト 10 分、計測 10 分、0.1 秒間隔で行った。設置状況を図 2-3-3 に示す。

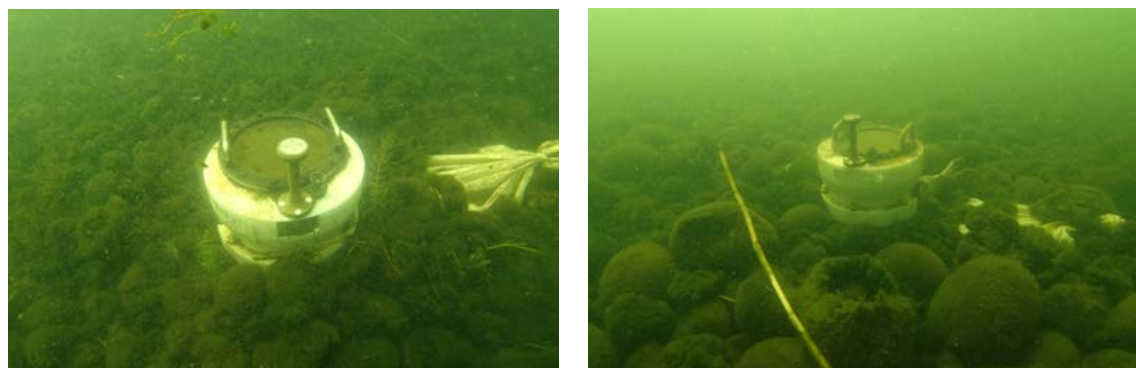


図 2-3-3 波高計の設置状況 左：St.A、右：St.B

e. 底質

アクリルコアサンプラー（約φ11cm）を用いて表層泥（表層から深さ 10cm まで）を採取した。各地点で 3 本ずつ採取し、混合した試料を分析検体とした。採取後は速やかに粒度分布と強熱減量の分析に供した。分析方法は前回調査と同様である（表 2-3-2 参照）。

f. 風向・風速

チュウルイ島の南東 1 地点において、風湖風速計 KDC-S4（コーナシステム社製）および観測用仮設ポールを設置し、水面上約 7.5m の高さで風向・風速の連続観測を行った。データは 10 分毎に 1 データずつ取得した。

④調査結果

a. チュウルイ湾における水草の除伐および生物量、種構成調査

試験水域内（総面積 700m²）において除伐した水草の総湿重量は 638.1kg であった（表 2-3-3）。前回の除伐試験水域（総面積 280m²）よりも面積が約 2.5 倍広がったにも関わらず、刈取り量は前回（湿重量 708.9kg）よりも少なかった。一方、各除伐区画（A～T）における水草湿重量は、沖に向かうにつれて増加⇒減少⇒増加のパターンを示した（図 2-3-4）。

また、試験水域内において 7 種の水草が確認されたが、主な構成種はセンニンモ、マツモ、エゾヤナギモであり（全体の 98%）、前回（H27 年）の除伐試験水域と比べてセンニンモとエゾヤナギモの割合が多かった（表 2-3-4）。しかしながら、水草の第一有占種は水深によって異なっており、深さとともにエゾヤナギモ→センニンモ→マツモと変化した（図 2-3-5）。

表 2-3-3 試験水域内における水草の生育状況

除伐試験区	A	B	C	D	E	F	G	H
水草湿重量 (kg)	21.7	37.5	51.5	28.6	85.3	55.1	29.2	46.0
除伐試験区	I	J	K	L	M	N	O	P
水草湿重量 (kg)	34.8	22.4	13.7	18.6	16.1	13.9	7.1	10.1
除伐試験区	Q	R	S	T	Total			
水草湿重量 (kg)	25.9	27.8	36.5	56.1	638.1			

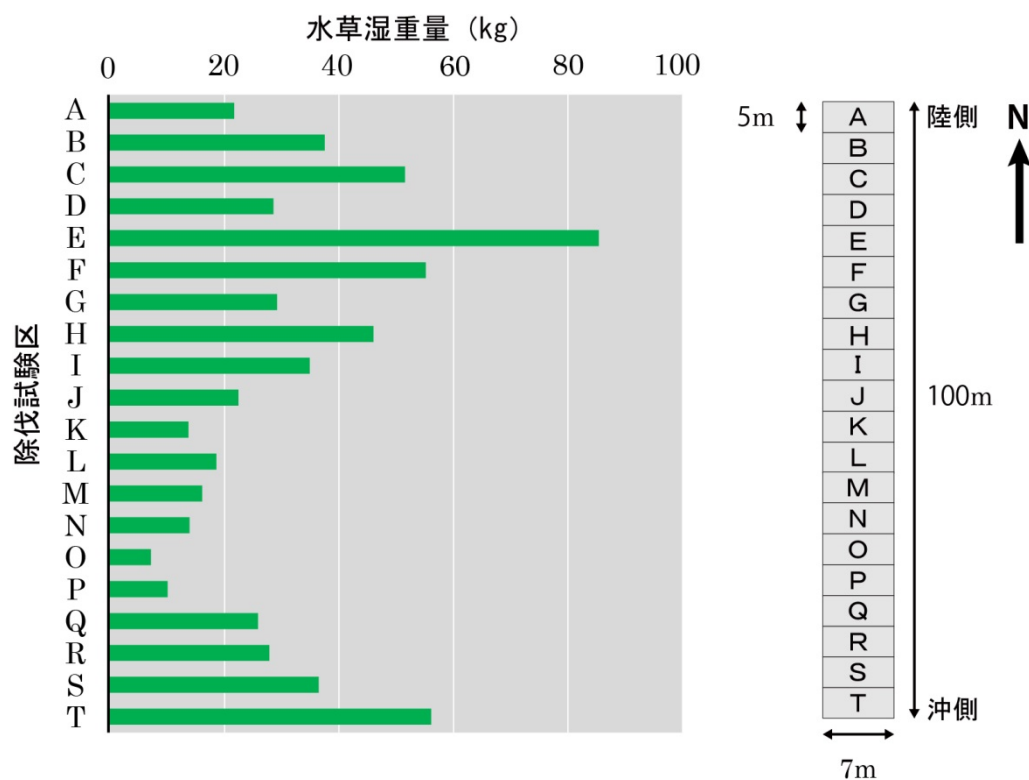
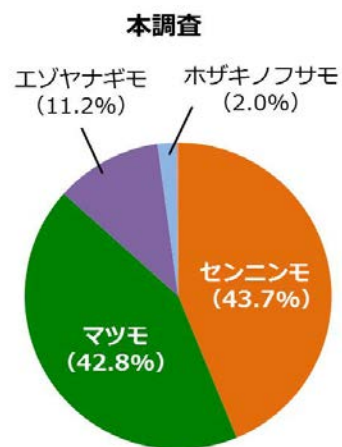


図 2-3-4 各区画で除伐した水草の湿重量

表 2-3-4 試験水域内における水草の出現種および前回の除伐試験結果との比較

+: 確認 -: 未確認

水草種	本調査 (H28)	前回調査 (H27)
センニンモ	+	+
マツモ	+	+
エゾヤナギモ	+	+
ホザキノフサモ	+	+
ヒロハノエビモ	+	+
エビモ	+	-
クロモ	+	-
ナガバエビモ	-	+
イバラモ	-	+



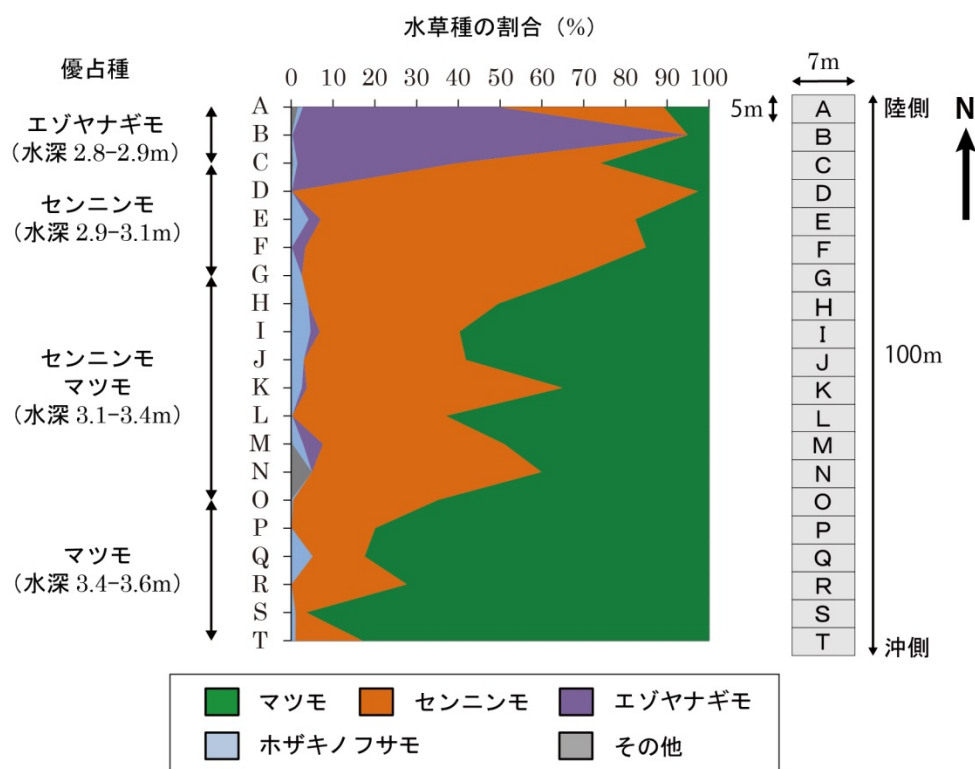


図 2-3-5 各区画における主な水草出現種の割合

b. チュウレイ湾以外の阿寒湖水域に生育する水草種の調査

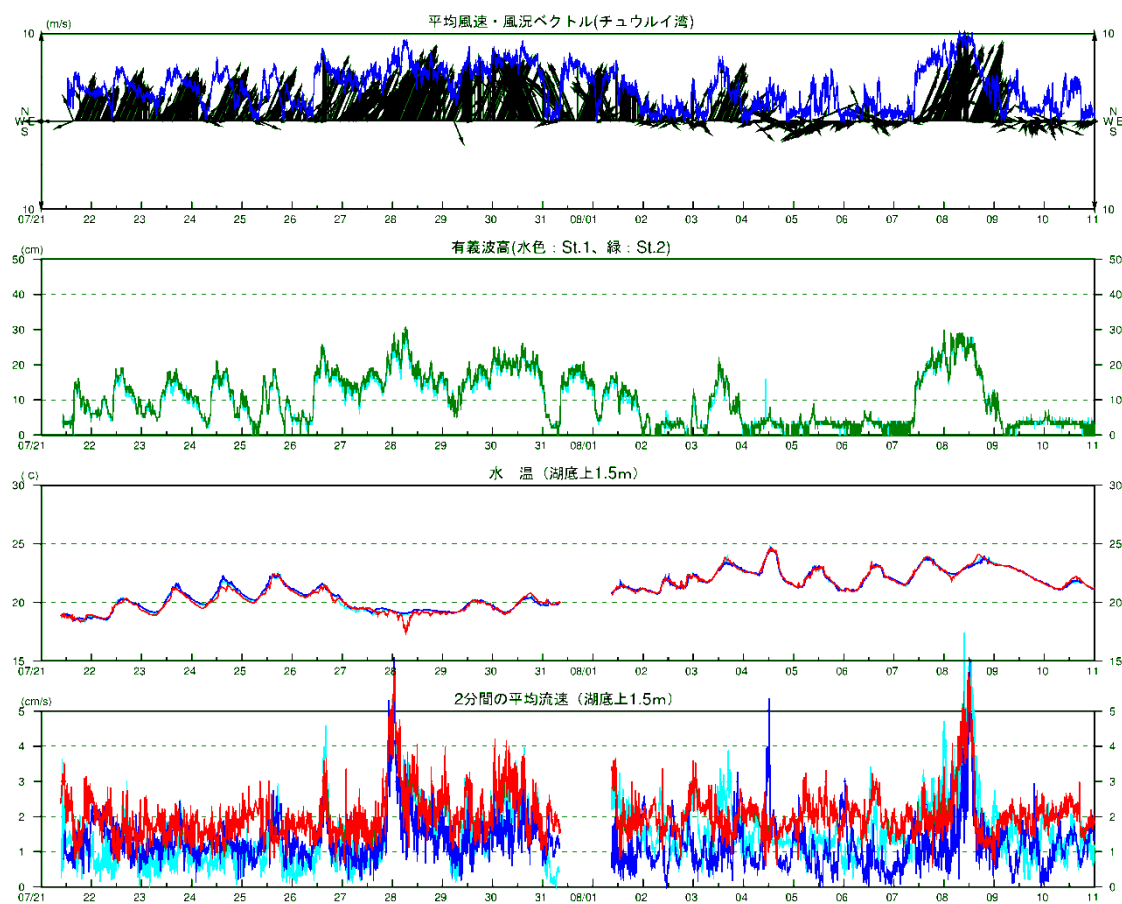
チュウレイ湾の試験水域における水草種の調査結果と、シュリコマベツ湾、キネタンペ湾、および南東部沿岸の調査地点（図 2-3-2 参照）に生育する水草種の調査結果を表 2-3-5 に示す。チュウレイ湾の試験水域に生育する水草種のうち、マツモおよびセンニンモについては他の 3 水域にも広範囲かつ大量に生育していた。他の水草種についても、チュウレイ湾以外の水域に生育していることが確認された。

表 2-3-5 チュウレイ湾の水草除伐試験水域および阿寒湖の他水域で確認された水草種

水草種	チュウレイ湾 (水草除伐試験水域)	シュリコマベツ湾	キネタンペ湾	南東部沿岸
マツモ	+	+	+	+
センニンモ	+	+	+	+
エゾヤナギモ	+	+	+	—
ホザキノフサモ	+	+	+	+
ヒロハノエビモ	+	+	+	—
エビモ	+	+	—	—
クロモ	+	+	+	+
イトモ	—	+	—	—
リュウノヒゲモ	—	—	—	+

c. 物理環境

観測期間中の平均流速と水温の時間変化を図 2-3-6 に示す。平均風速および風速ベクトル観測の結果から、水草の除伐前後において、マリモの回転に要される風速 5m 以上の風が観測されていたが、風向きは大半が南南西であり、水草除伐結果の検証に要される南南東の風はわずかであった。



— : St.1 (マリモ生育良好水域)

— : St.2 (マリモ生育悪化水域：今回 (H28) の水草除伐試験水域の北側で観測)

— : St.4 (前回 (H27) の水草除伐試験水域)

図 2-3-6 物理環境観測結果 (地点間比較)

d. 底質

図 2-3-1 の 4 地点 (St.1~4) で採取した底質の粒度組成・強熱減量・含水率を図 2-3-7 に示す。各分析項目の特徴は以下に箇条書きで示したとおりである。

- ・粒度組成：St.1 と St.3 はシルト・細砂が主体であるが、St.2 と St.4 は他の 2 地点よりも中砂や粗砂の割合が多い
- ・強熱減量：マリモ分布域 (St.1, 2) よりも水草繁茂水域 (St.3, 4) の方が高い
- ・含水比：強熱減量と同様に、マリモの分布域 (St.1, 2) よりも水草繁茂水域 (St.3 および St.4) の方が高い

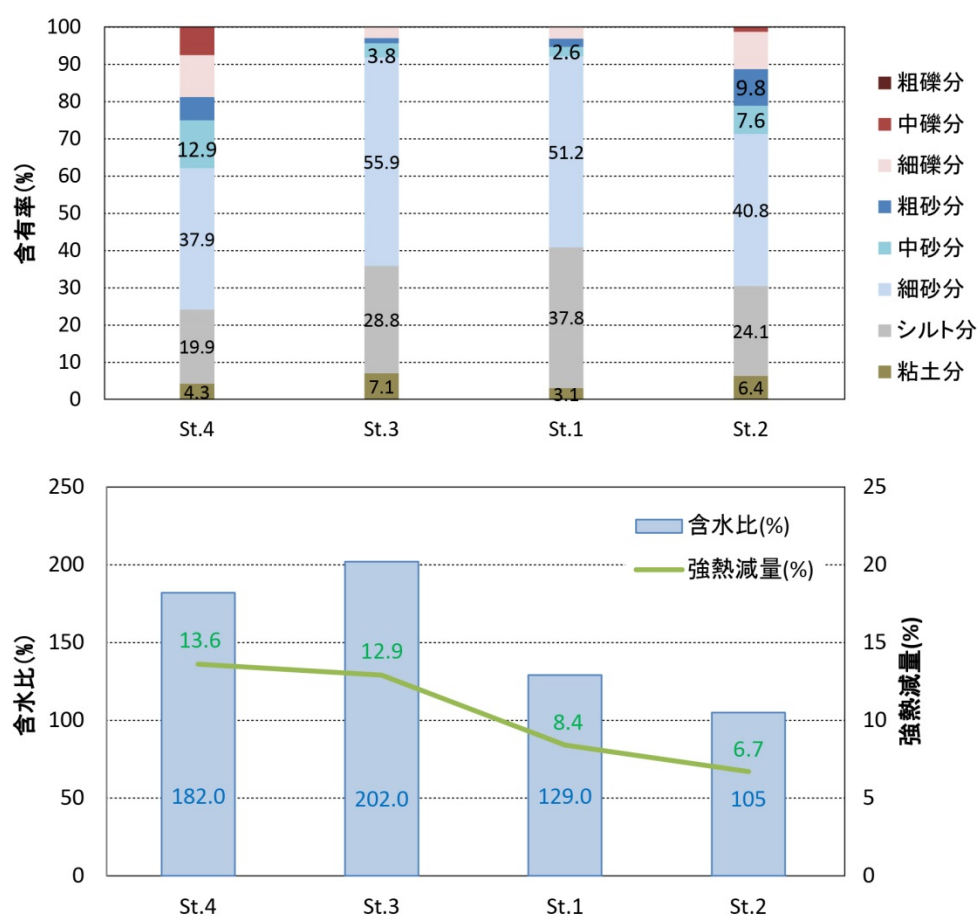


図 2-3-7 底質調査結果

⑤考察

a. 水草の除伐が球状マリモの生育環境に与える影響の検討

前回（H27 年度）の評価方法に基づき、水草除伐前後における流向・流速観測で得られた結果をもとに流動構造を解析し、水草の除伐が球状マリモの生育環境に与える影響に関する検討を行う。

平均風速と振動流速振幅の相関関係として、風向 SSE（南南東）を図 2-3-8 に示す。前回の除伐試験結果では、風向 SSE の風が卓越していたため解析に要される十分なデータが得られたが、今回の調査期間中においてはデータ数が少なく、除伐による違いが明確に表れなかった。このため、観測期間中に卓越していた風向 SSW における平均風速と振動流速振幅データの相関式を用い、水草除伐前後における平均風速 7m/s の振動流速を推定した結果、除伐前と除伐後のいずれにおいても St.1（マリモ生育良好）と St.2（水草除伐試験水域）では振動流速の変化が殆ど見られなかった。（図 2-3-9, 表 2-3-6）。この理由としては、除伐試験水域を岸沖方向に細長く伐採したことで、SSW の卓越風向（波向）の影響を受けにくかった可能性が考えられた。

⑥まとめ

本調査によって得られた結果を以下にまとめる。

- ・今回の水草除伐試験水域（700m²）における水草総刈り取り量は、湿重量ベースで約 638.1kg であり、前回（280m², 708.9kg）と比べて少なかった
- ・試験水域域内に出現した水草のうち、マツモ、センニンモ、エゾヤナギモが全体の 98%を占めていたことから、これら 3 種がマリモ群生地沖合における主な除伐対象種となりうる
- ・水草除伐試験水域で記録された 7 種の水草は、いずれも湖内の沿岸域にも広く生育していることが確認されたことから、チュウレイ湾での水草の除伐が阿寒湖における水草の生物多様性に与える影響は限定的であることが示唆された
- ・物理環境観測から得られた湖上風速（風向 SSE～SSW）と振動流速を解析した結果、湖底上 1.5m の振動流速は水草除伐前後で大きな変化が見られなかった。その考えられる要因を以下に列挙する
 - a. 今回の水草除伐試験水域の面積は、前回の除伐試験水域よりも広く設定したにも関わらず、水草の刈取り総重量が少なかったことから、前回試験時よりも水草が生長しておらず、除伐による効果が十分に表れなかった可能性がある。
 - b. 前回の水草除伐試験の成果を踏まえてマリモが群生する水域の沖側を SSE 方向に除伐したが、観測期間中の卓越風向が SSW であり、波の進行方向

と除伐区域にずれが生じたことが影響した可能性がある。

- c. マリモ生息域の沖側を岸沖方向に細長く伐採し、南側を閉じた除伐区としたことで、卓越風向（波向）の影響を受けにくかった可能性がある。

このため、水草除伐による効果を検証するためには、以下の点について留意する必要があると推察された。

- a. 水草が十分に生長している場所および時期に除伐試験を実施する
- b. 東西方向の除伐幅を可能な限り広くし、開放性を高めることにより、風向が変化することによるリスクを低減する

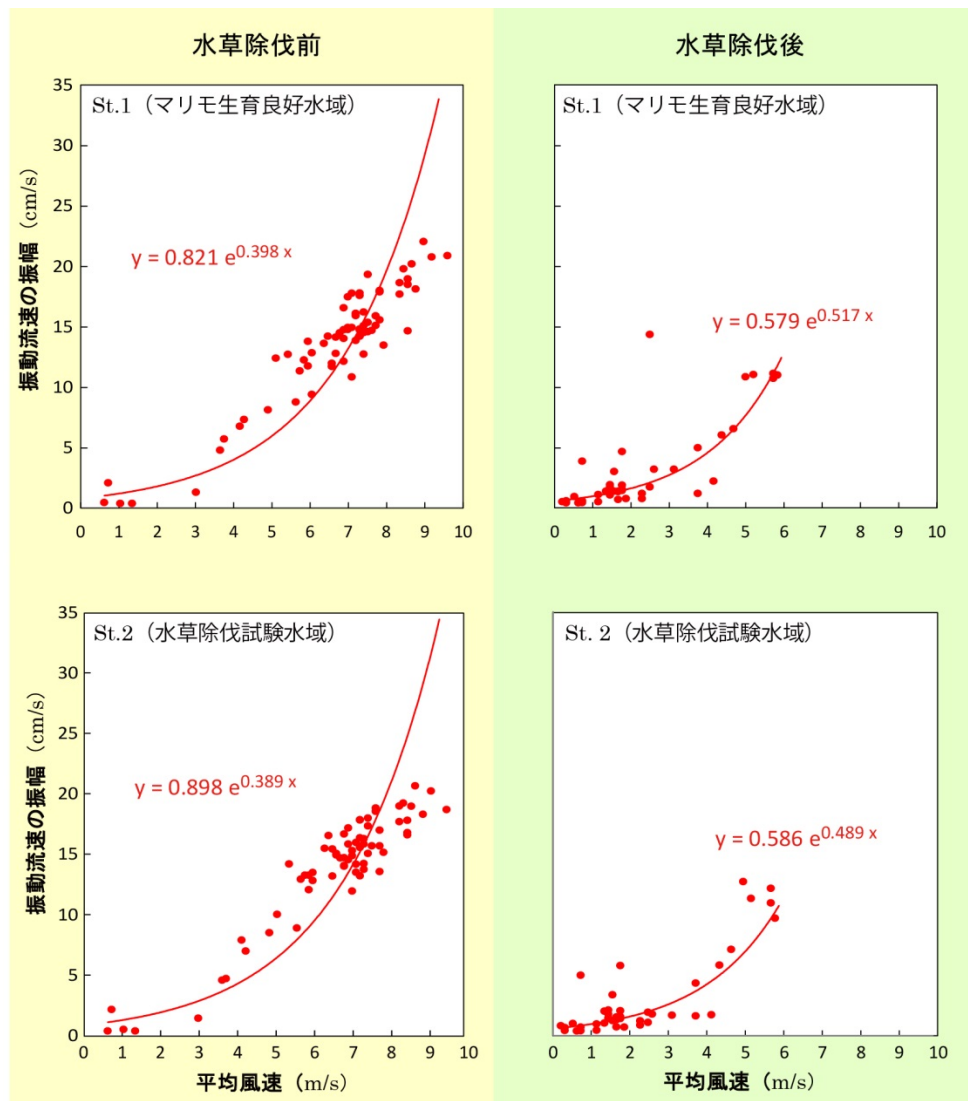


図 2-3-8 平均風速と波の振動流速の相関関係 風向は南南東（SSE）

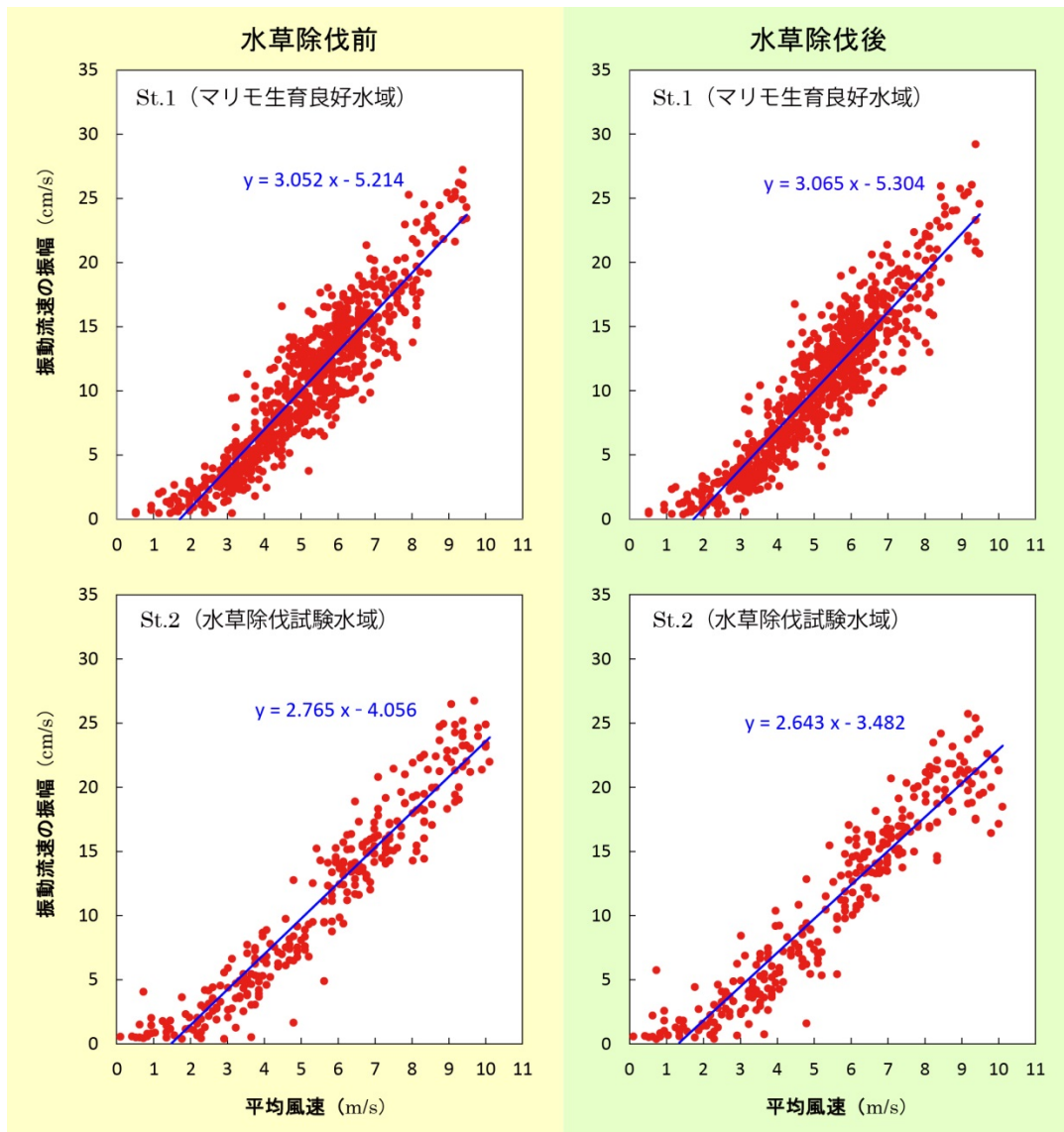


図 2-3-9 平均風速と波の振動流速の相関関係 風向は南南西 (SSW)

表 2-3-6 水草除伐前後における平均風速 7.0m/s (風向 SSW) の際の振動流速の変化

	振動流速 (cm/s)		
	St. 4	St. 1	St. 2
除伐前	20.6	18.3	18.4
除伐後	22.4	19.7	19.2

(4) 大型台風の通過によって攪乱を受けたマリモ群生地環境変化

①調査の目的

平成 28 年 8 月に実施した水草除伐試験から約 2 週間後、大型の台風 7 号、11 号、9 号が連続して北海道に上陸したことで、マリモ生育地があるチュウレイ湾は、水草や有機物、砂泥が一掃されるなど大規模な攪乱を受けた。台風通過後に行った現地調査の結果、除去された水草の総湿重量は 121.6t と推定され、これはチュウレイ湾に繁茂していた水草の 8~9 割に相当すると考えられた（平成 28 年度文化財パトロールで報告済）。類似の現象は 21 年前の 1995 年にも確認されており、水草が一掃された数年後にマリモが大型化したことから、今回のケースにおいても今後数年間はマリモの生育状況が好転するものと予測されるが、水草の分布・生育状況が回復するのに伴って、マリモの生育状況は再び悪化する可能性が高い。従って、水草の回復ならびにマリモ生育状況の再悪化の過程を初期の状態から追跡調査することができれば、マリモ生育地における水草の許容量や許容範囲など、今後の水草管理に向けた重要な知見が得られるものと期待される。

このような経緯と現状を踏まえ、水草の回復初期に相当する現在のマリモ生育環境の状況を把握することを目的として、マリモと水草の分布・生育現況ならびに各種環境項目に関する調査を実施することとした。

②調査期間および地点

平成 29 年 5 月 26 日から 6 月 23 日までの 28 日間、チュウレイ湾の 3 地点 (St.1, 2, 4: 図 2-4-1) において流向・流速、および水温の連続観測を実施するとともに、チュウレイ島南東岸の 1 地点 (St.6) で風向・風速の観測を実施した。また、観測終了日の 6 月 23 日に図 2-4-1 の 4 地点 (St.1~4) において湖底泥の採取を実施した。各観測地点の緯度経度および概況は表 2-4-1 のとおりである。

さらに、同年 8 月 2 日から 8 月 25 日までの間の 7 日間、チュウレイ湾に設定された永久調査基線 L220, L240, L260 の 3 測線に沿ってマリモと水草の生育状況を潜水によって調査するとともに、湾全域を対象としてマリモと水草の分布状況を調査した。また、8 月 4 日にドローンによる空撮を実施した。

③調査方法

a. 流向・流速

小型メモリー式電磁流向流速計 INFINITY-EM (JFE アドバンテック社製) を、前述したチュウレイ湾の 3 地点の底面上 1.5m の 1 層にそれぞれ設置し、流向・流速及び水温の連続観測を行った。観測データは 0.1 秒間隔で 2 分間計測された値の平均値を 10 分毎に取得した。

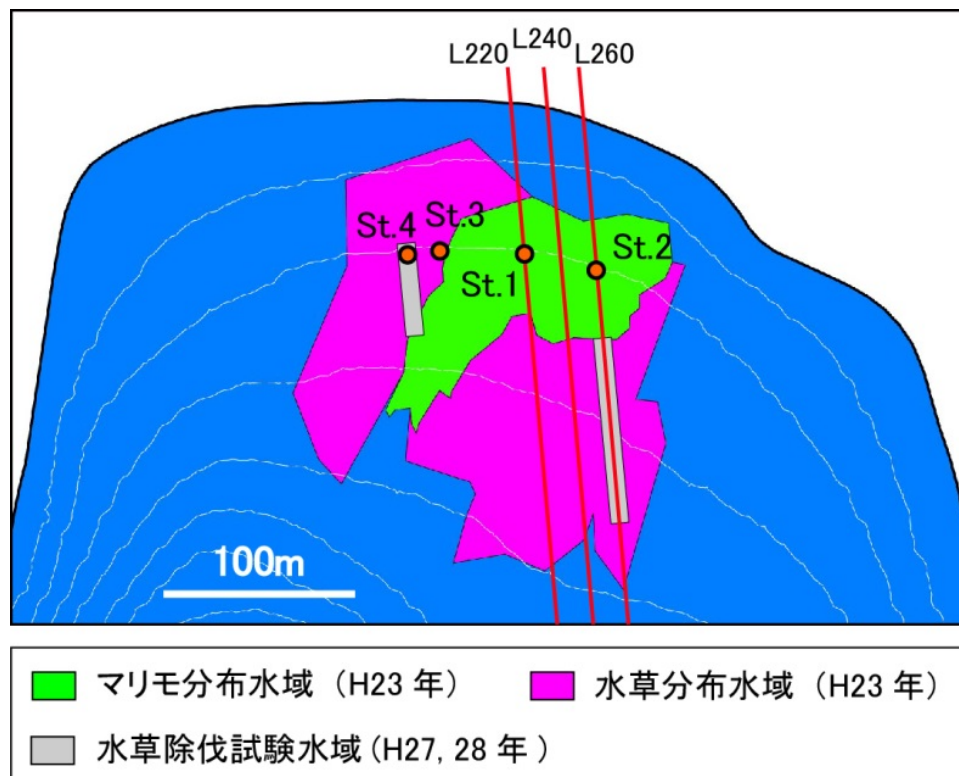


図 2-4-1 物理環境等観測地点

表 2-4-1 観測地点の緯度経度、水深および概況

地点名	緯度	経度	水深	概況
St.1	43° 28.557′	144° 06.717′	2.1m	マリモの生育状況が良好に変化した地点
St.2	43° 28.555′	144° 06.747′	2.1m	マリモの生育状況が不良に変化した地点で、平成 28 年の水草除伐試験水域の北側
St.3	43° 28.557′	144° 06.694′	2.1m	従前は St.1 と同様に小型のマリモが分布していたが、水草が侵入してマリモが消失し、植生が置き換わった地点
St.4	43° 28.556′	144° 06.680′	2.1m	平成 27 年に水草の除伐試験を実施した地点
St.6	43° 28.161′	144° 06.510′	0.6	チュウレイ島の南東岸

b. 風向・風速

チュウレイ島の南東 1 地点において、風湖風速計 KDC-S4（コーナシステム社製）および観測用仮設ポールを設置し、水面上約 7.5m の高さで風向・風速の連続観測を行った。データは 10 分毎に 1 データずつ取得した。

c. 底質

アクリルコアサンプラー（約φ11cm）を用いて表層泥（表層から深さ 10cm まで）を採取した。各地点で 3 本ずつ採取し、混合した試料を分析検体とした。採取後は速やかに粒度分布と強熱減量の分析に供した。分析方法は過年度調査と同様である（表 2-3-2 参照）。

d. ラインセンサス調査

永久調査基線 L220, L240, L260 の 3 測線に沿って、マリモの直径や層厚、被度ならびに水草の被度や構成種等を潜水調査した。このうち、L220 と L240 については岸から 300m 離れた地点（水深約 4.0m）までを対象とし、L260 については岸から 500m 離れた地点までを対象とした。

e. マリモと水草の分布調査

潜水調査によりマリモと水草の縁辺部を GPS に記録した後、地理情報システムを使用して分布地図を作成した。

f. ドローンによる空撮

Fantom 2（DJI 社製）を用いてチュウレイ湾全域の空撮画像を取得した。取得した画像は Photoshop CC 2017（Adobe 社製）を用いてコントラスト調整により水草の分布範囲を強調し、Illustrator CC 2017（Adobe 社製）上で各画像を重ね合わせてチュウレイ湾全域の画像を作成した。

④調査結果

a. 物理環境調査

観測期間中における風況出現頻度を過年度と比較して図 2-4-2 に示す。今回の観測期間中は SSE（南南東）～S（南）方向の強風が卓越しており、一昨年（平成 27 年）の夏に近い環境であったといえる。なお、昨年（平成 28 年）夏は SSW（南南西）からの強い風が卓越しており、他の 2 つの年に比べて異なる傾向を示していた。なお、観測期間中の平均風速 5m/s 以上の南系の強風出現頻度は 40～50%であり、過年度とほぼ同様の傾向であった。

また、各観測地点（St.1, 2, 4）における平均流速と水温の時間変化を図 2-4-3 に、流向

の頻度分布を図 2-4-4 に示す。平成 27 年や 28 年は地点毎に平均流の出現傾向が異なっていたが、大規模擾乱によって水生植物が大量流失した平成 29 年においては、過年度に見られた特定方向の流れが 2 つの方向の流れに変化していた。

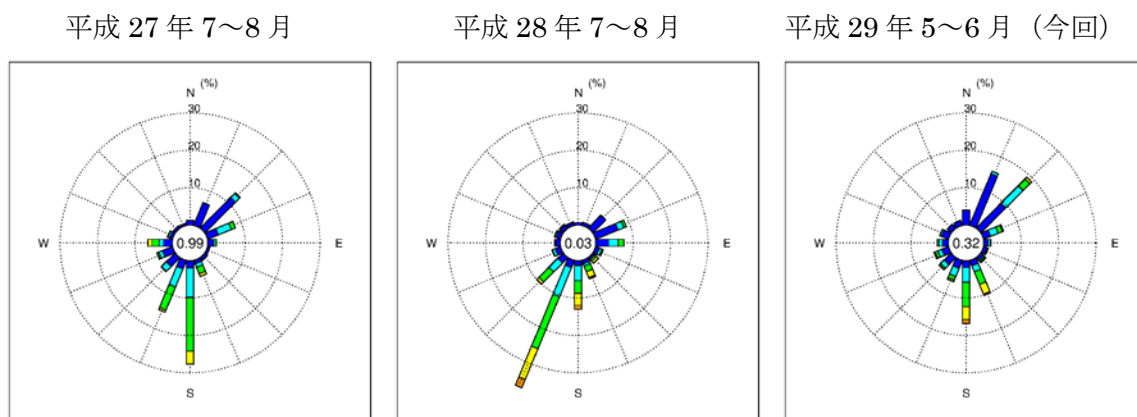
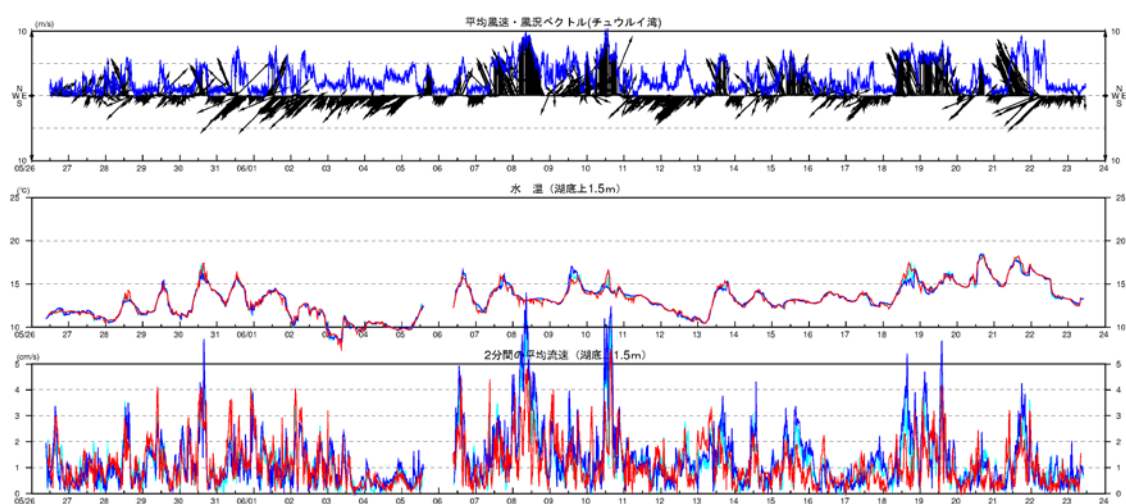


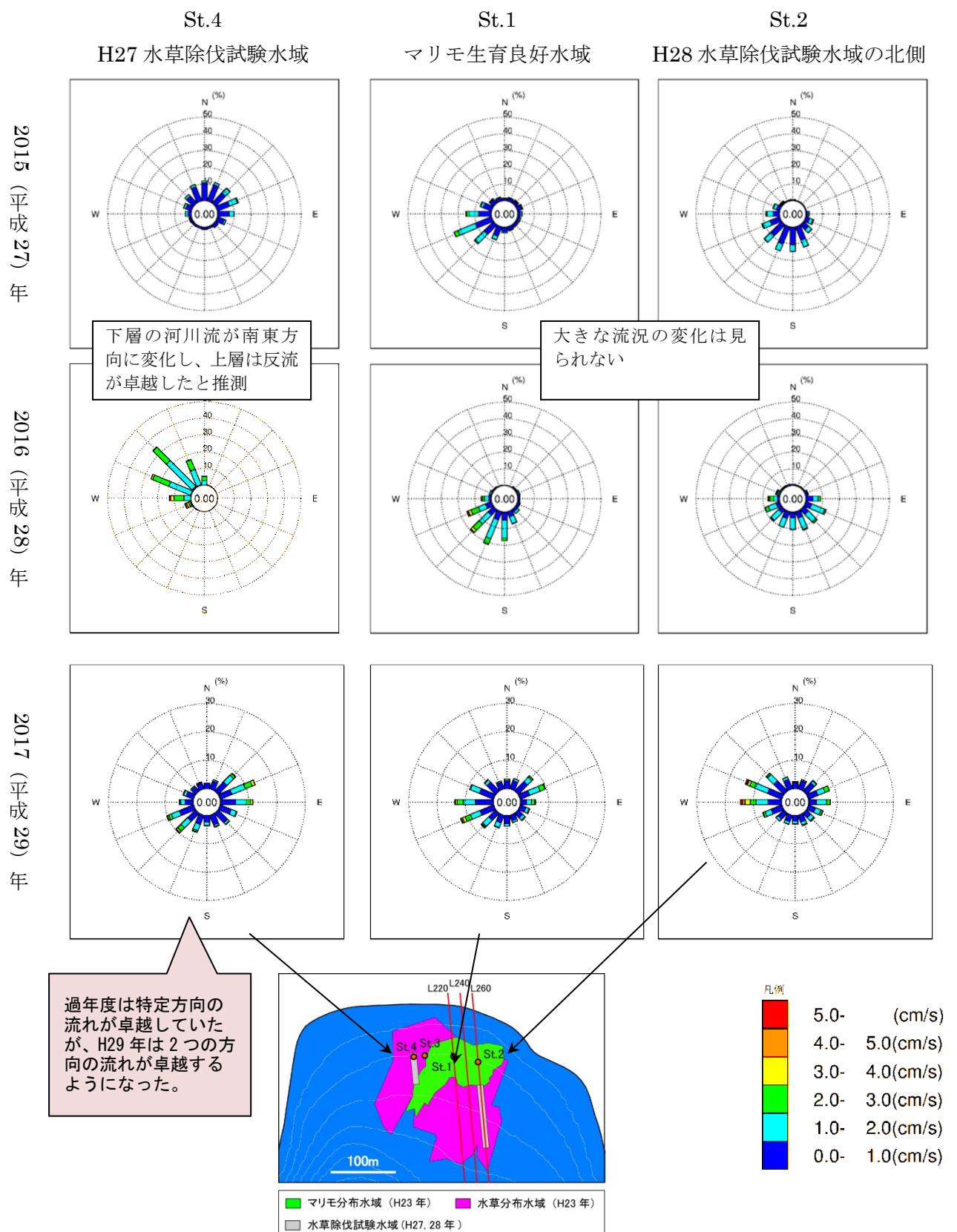
図 2-4-2 平成 26～28 年調査時における風況頻度分布の違い



凡例)

— : St.A (マリモ生育良好) — : St.B (マリモ生育悪化水域)
 — : St.D (H27 水草除伐水域)

図 2-4-3 物理環境観測結果 (地点間比較)



b. 底質

図 2-4-1 の 4 地点 (St.1~4) で採取した底質の粒度組成・強熱減量・含水比について、台風通過前の平成 28 年 8 月 10 日に採取した底泥の分析結果と合わせて図 2-4-5 に示す。地点ごとに台風擾乱前後の底質変化をみると、St.3 (水草分布水域) ではほとんど変化がみられず、St.1 (マリモ生育良好水域) では細砂がやや増加する一方、St.B (マリモ生育不良水域) や St.D (H27 水草除伐水域) では、シルト・粘土分および含水比・強熱減量が増加していた。

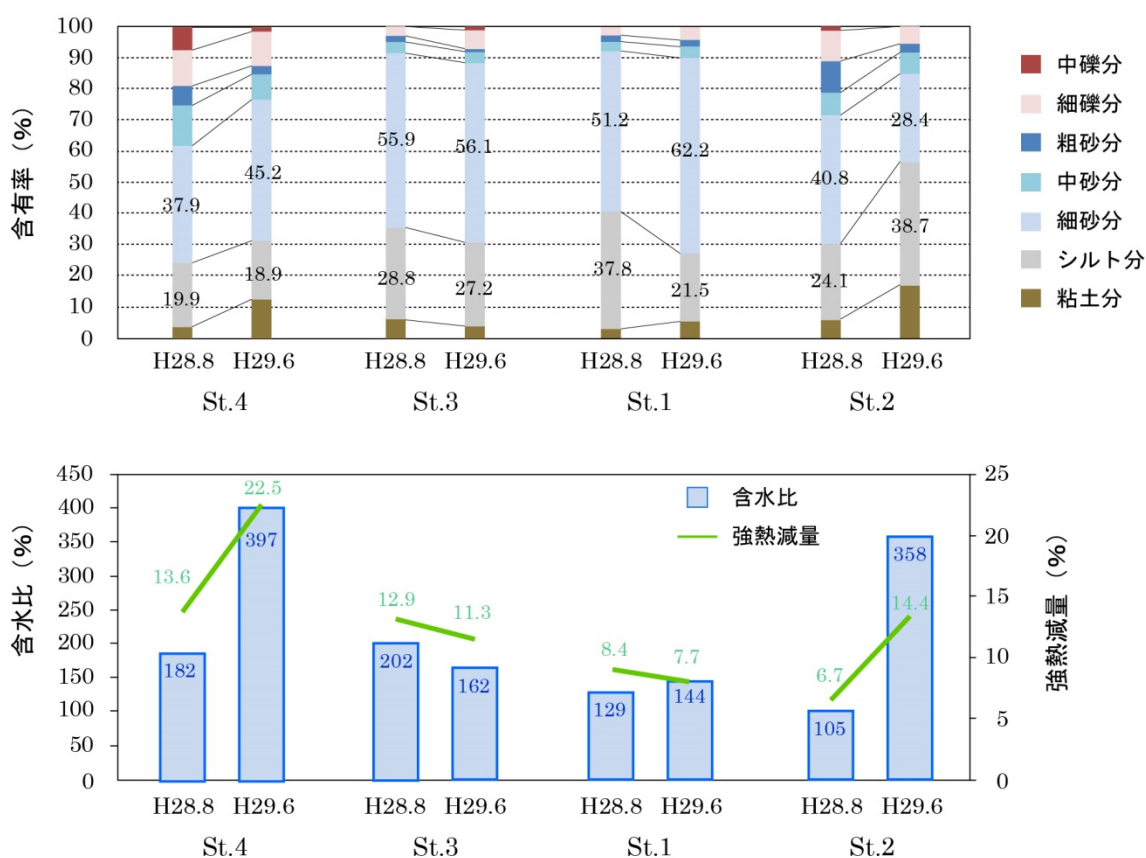


図 2-4-5 底質調査結果 本調査 (H29 年) と H28 年調査結果との比較

c. ラインセンサス調査

永久調査基線 L220, L240, L260 において実施したラインセンサス調査の結果について、台風通過前に相当する平成 27 年 8 月の調査結果と合わせて図 2-4-6 に示す。各基線における平成 27 年調査時との主な違いを以下に列記する。

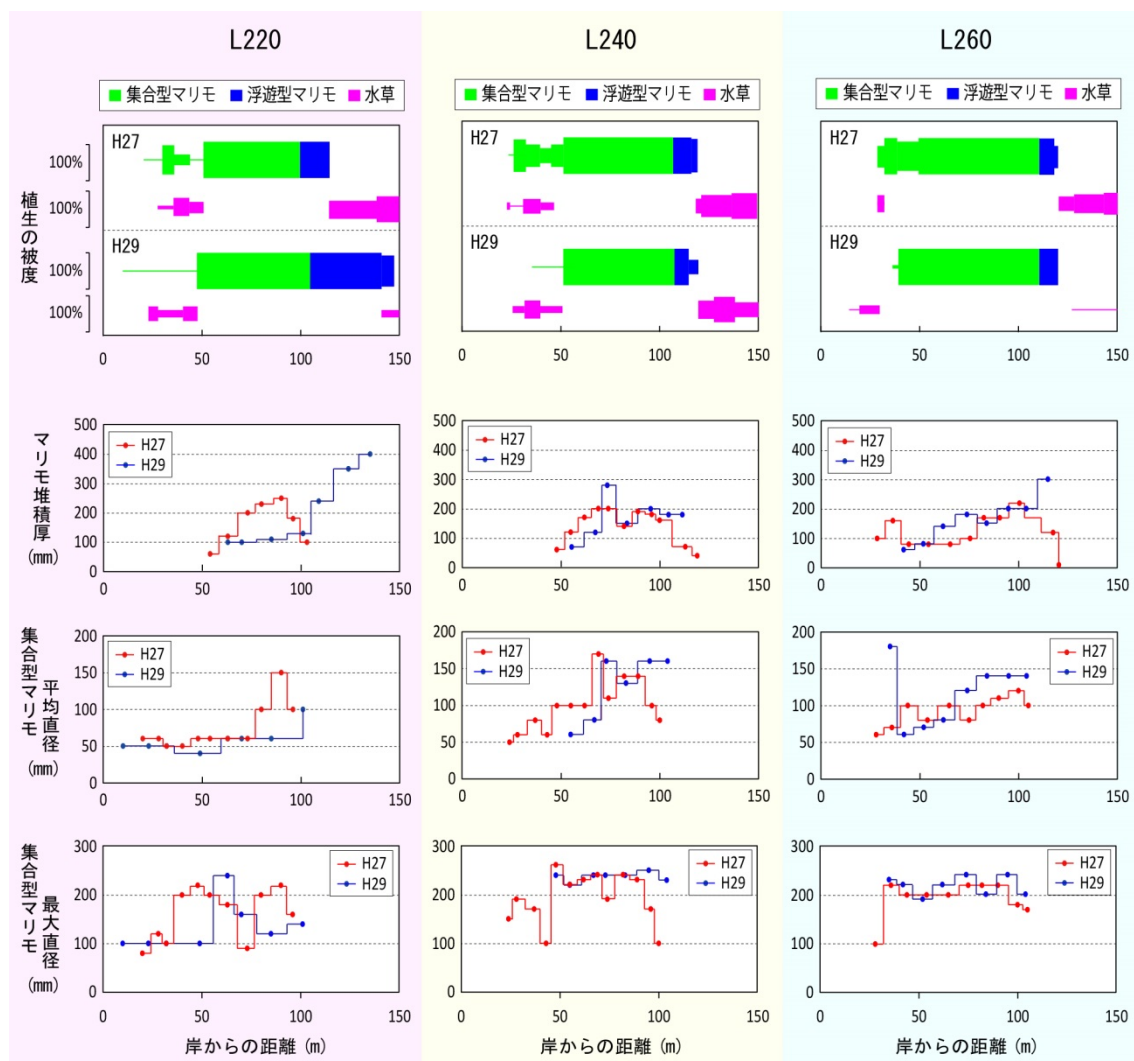


図 2-4-6 ラインセンサス調査結果 本調査（H29 年）と H27 年調査結果との比較

【L220】

- ・ 集合型マリモの被度は湖岸から 25~40m 離れた水域において減少
- ・ 水草の被度は湖岸から 120m 以上離れた水域において減少する一方、同水域において浮遊型マリモの被度が大きく増加
- ・ マリモの体積厚は湖岸から 50~100m 離れた水域において減少し、100m より離れた水域で増加
- ・ 集合型マリモの平均直径は湖岸から 75~100m 離れた水域において減少

【L240】

- ・ 集合型マリモの被度は湖岸から 25~50m 離れた水域において大きく減少
- ・ 集合型マリモの平均直径・最大直径は湖岸から 100m 以上離れた水域において増加

【L260】

- ・集合型マリモの被度は湖岸から 25~30m 離れた水域において減少
- ・水草の被度は湖岸から 120m 以上離れた水域において減少しているが、これは平成 28 年度に実施した水草除伐試験によるものと考えられる。
- ・集合型マリモの平均直径は湖岸から 75m 以上離れた水域において増加

d. ドローンによる空撮結果

ドローンによって撮影されたチュウレイ湾全域の空撮結果を図 2-4-7 に示す。この画像は、水草の分布範囲が暗くなるよう画像処理を施したものである。この画像から、以下の特徴を確認することができた。

- ・マリモ集合体の分布域の南側（沖側）は水草の密度が低い
- ・H28 年度に実施した水草除伐試験の痕跡が確認できる
- ・マリモ群生地の東側は依然として水草が高密度で繁茂
- ・マリモ群生地の西側は水草が低密度で繁茂

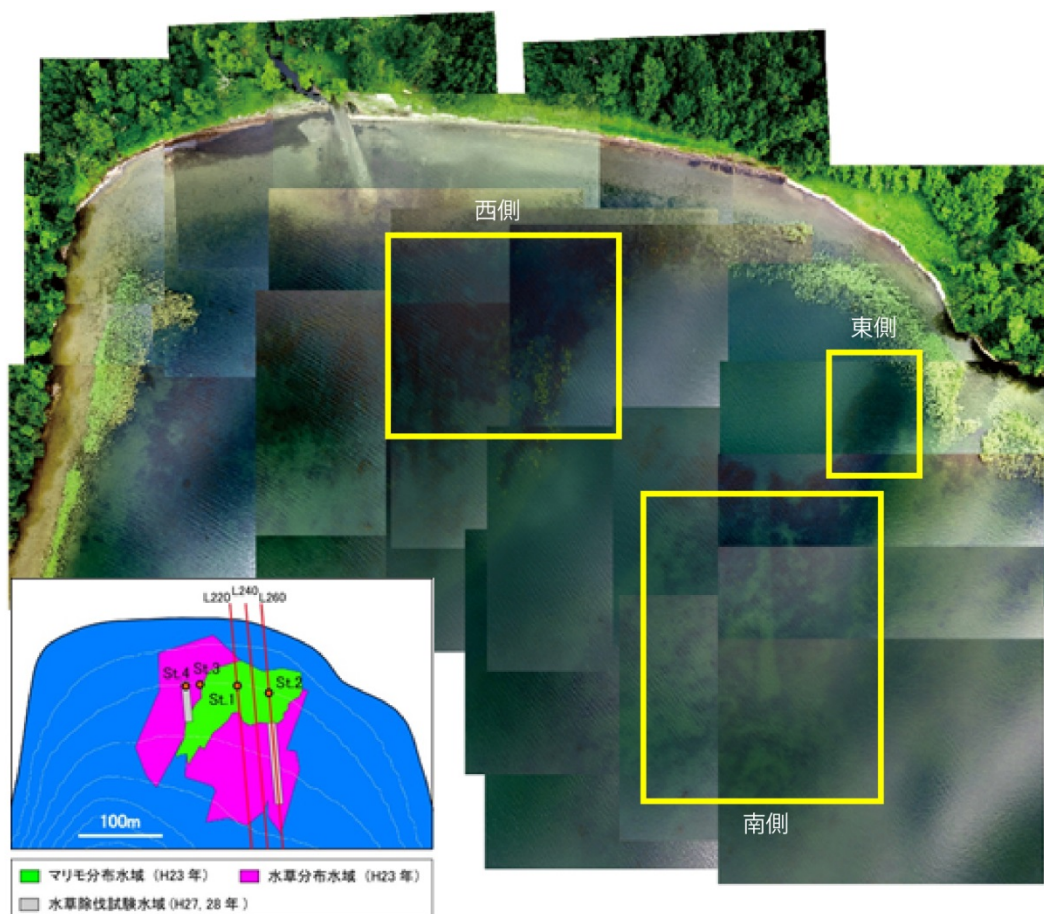


図 2-4-7 ドローンによる空撮結果 画像の暗い部分が水草

e. マリモと水草の分布状況

前述したドローンによる空撮結果と潜水による現地調査を基に作成したマリモと水草を図 2-4-8 に示す。湖底景観を示した①～⑥の地点の特徴は以下の通りである。

- ① マリモ分布水域の南端部。水草は僅かで、ここより南方は裸地
- ② 沖帯のマツモ群落（水深 4～5m）
- ③ 低密度の水草帯。水草が抜けた跡のような陥没が見られる
- ④ H28 年度の水草除伐試験でできた裸地の一部に浮遊型マリモが分布を拡大
- ⑤ マリモ分布水域の東側に高密度で残存するセンニンモとエゾヤナギモ群落
- ⑥ H27 年度の水草除伐試験水域では希少種のナガバエビモが群落を構成

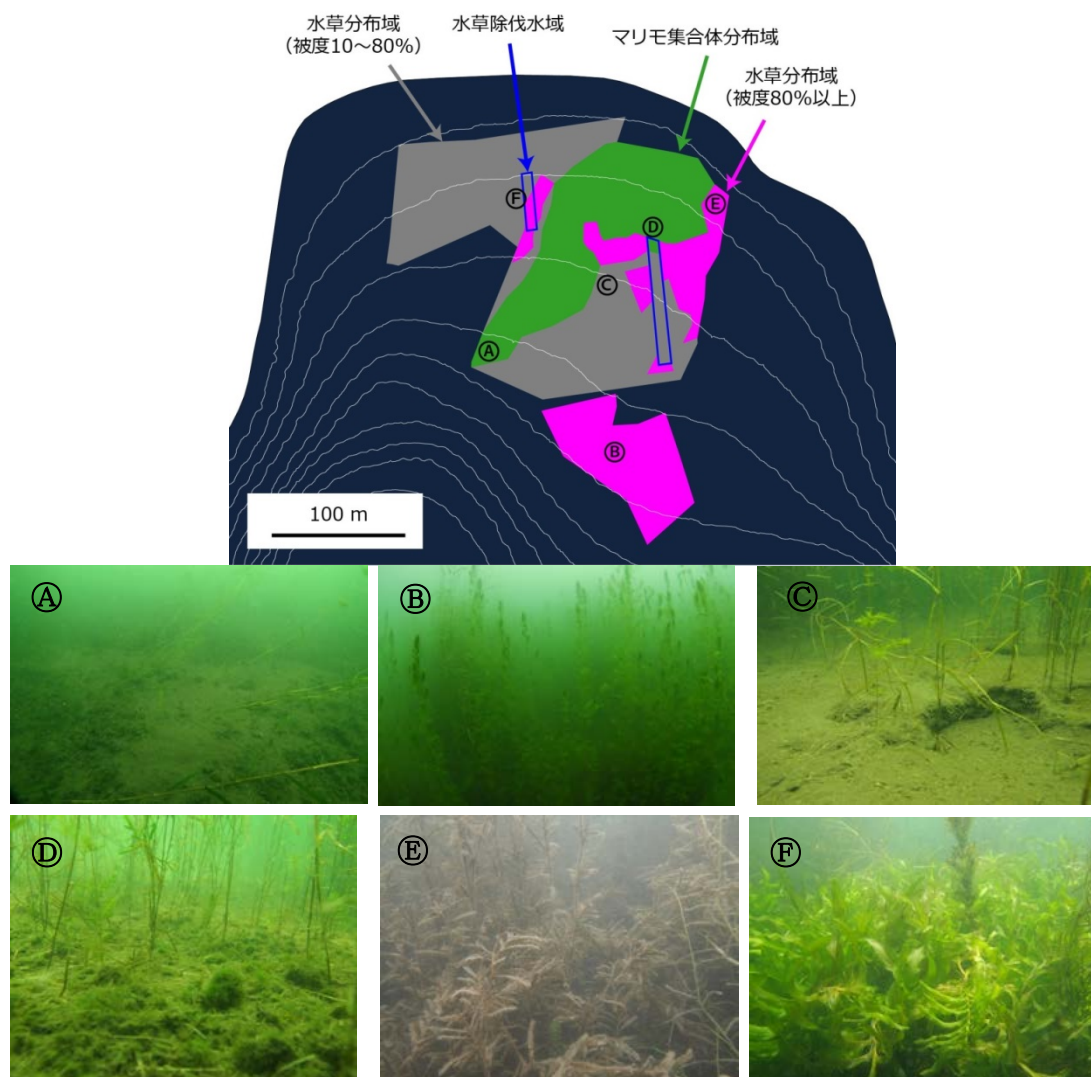


図 2-4-8 本調査によって作製したマリモと水草の分布地図と湖底景観

⑤考察

a. 台風通過前後における湖水流動の変化

平成 28 年 8 月の台風がもたらした水草の大量流失により、湖水の流動環境がどのように変化したかを把握するため、中山ら（2015）を参考に、マリモが回転し始める湖上風速 5m/s 以上が出現した際の波の振動流速の強さの変化を評価した。その際、チュウлуй湾で強風が出やすいとされる風向 S と SSE の 2 方向のデータに着目した。

湖上の平均風速と振動流速振幅の相関関係として、風向 S と SSE を結合した相関図を図 2-4-9 に示す。3 ヶ年とも風速と振動流速に明瞭な相関関係が認められるものの、相関式の傾きやバラつきは各年で異なっている。このため、3 ヶ年ともに観測することができた風速 5～8m/s に着目して振動流速の平均値を算出した結果、台風擾乱後の平成 29 年は台風通過前の平成 27 年に比べて振動流速の平均値が 20～40%増加しており、水草の大量流失によって湖水の流動環境が改善したと推察された（表 2-4-2）。

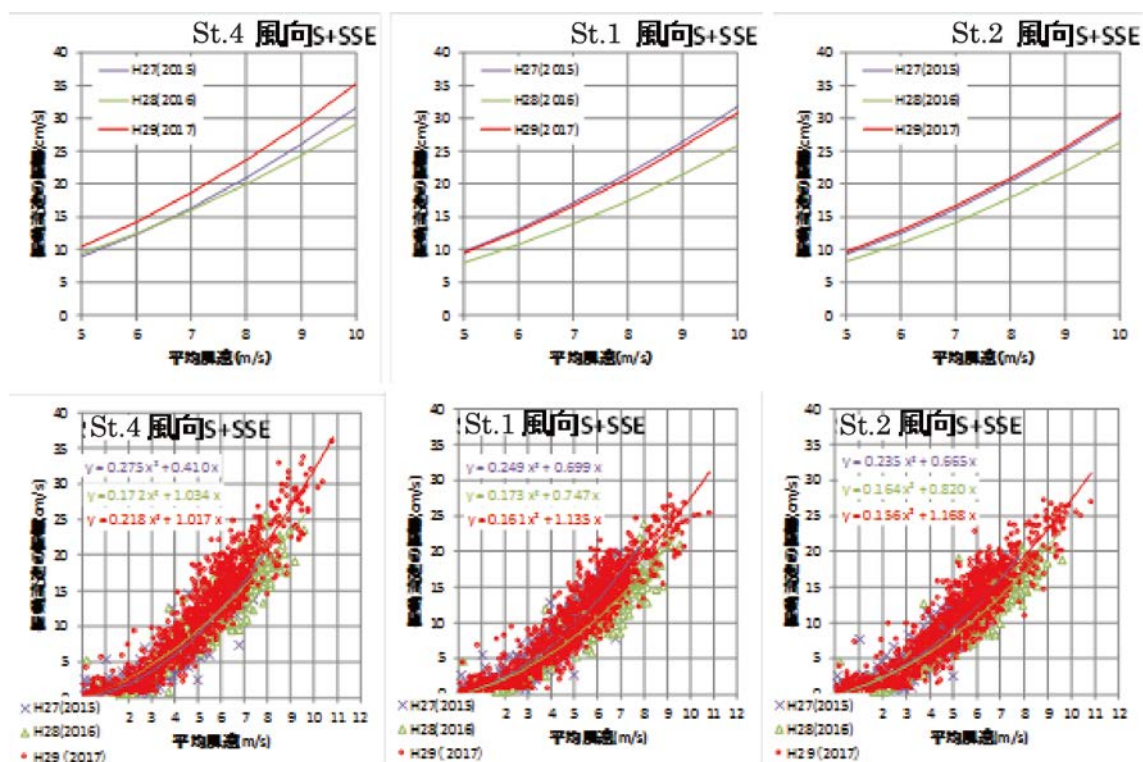


図 2-4-9 湖上風速と振動流速振幅の相関 出現頻度の高い風向 S と SSE のデータを結合

表 2-4-2 平均風速 5～8m/s 発生時の振動流速平均値

	データ数	St.4	St.1	St.2
H27	180	10.9	11.6	11.0
H28	200	12.6	11.0	11.2
H29（本調査）	488	15.4	13.9	14.0

b. 台風通過前後におけるマリモと水草の分布面積変化

本調査で得られた分布地図と平成 23 年の調査で得られた分布地図を図 2-4-10 に示す。このうち、水草については被度 80%以上の分布範囲を図示した。これらを比較すると、マリモの分布面積は台風通過前（H23 年）よりも約 4 割拡大しており、主に水深 3m 以深で顕著な拡大が見られた。しかしながら、分布を拡大したマリモは集合型（球状）マリモではなく浮遊型のマリモであった。また、水深 4.0m 未満の浅瀬に繁茂していた水草（被度 80%以上を対照）の分布面積が平成 23 年と比較して約 8 割縮小する一方、水深 4.0m 以上の水域では水草（主にマツモ）の分布面積が約 2 倍増加していた。マリモが新たに分布を拡大した水域の大半は、従前まで水草が高密度で繁茂していた水域であったことから、大型台風がもたらした風波によって水草が流失し、浮遊型のマリモが入り込むスペースができたと考えられる。

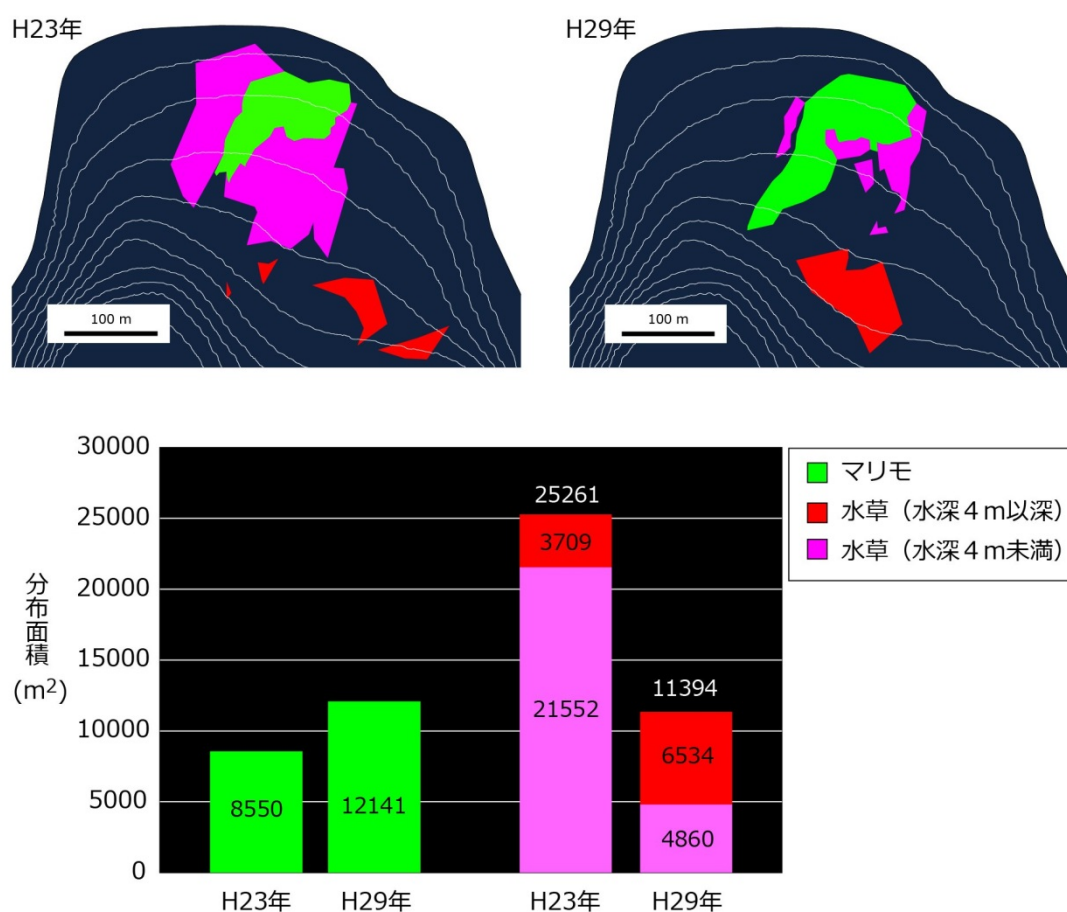


図 2-4-10 チュウルイ湾におけるマリモと水草の分布面積の長期変化

水草については被度 80%以上の分布範囲を対象とした

⑥まとめ

本調査によって得られた結果を以下にまとめる。

- 平成 28 年 8 月の台風がもたらした大規模擾乱による水草の大量流失によって、マリモの回転に要される強風時（風速 5m/s 以上）の振動流速が増加し、マリモの生長にとって良好な流動環境（水草が繁茂する以前の環境）に近づいた可能性が示唆された
- 底質については地点による性状変化の違いは認められたものの、即時的なマリモ生育環境への影響を議論することは困難であり、今後の継続的なデータ蓄積が必要と考えられた
- マリモの分布面積は平成 23 年（台風通過前）と比較して約 4 割拡大していたが、分布を拡大したマリモは集合型（球状）マリモではなく浮遊型のマリモであった
- 一方、水深 4.0m 未満の浅瀬に繁茂していた水草の分布面積が平成 23 年と比較して約 8 割縮小する一方、水深 4.0m 以上の水域では水草（主にマツモ）の分布面積が約 2 倍増加していた
- マリモが新たに分布を拡大した水域の大半は、従前まで水草が高密度で繁茂していた水域であったことから、大型台風がもたらした風波によって水草が流失し、浮遊型のマリモが入り込むスペースができたと考えられた

3. まとめと今後の課題

(1) 本事業で得られた成果

平成 26 年度から 29 年度までの 4 年間にかけて実施した天然記念物緊急調査によって、マリモ生育状況の悪化要因の把握ならびにマリモ生育環境の保存・回復手法の確立に資する以下の知見が得られた。

- ①マリモ生育状況の悪化要因を把握すべく、平成 26 年度にマリモ群生地がある阿寒湖チュウレイ湾で流向流速・水温・濁度・クロロフィル・光量子等の物理環境の観測を実施した結果、水草が増加したことによって湾内の波浪や湖水流動が緩和する方向に変わりつつある可能性が示され、その影響がマリモの形状や群集構造の変化として現れているものと予想された。
- ②平成 26 年度の調査結果を踏まえ、水草の除去が同湾の湖水流動の改善に寄与し得るかどうかを実証すべく、平成 27, 28 年度にチュウレイ湾の限られた範囲に水草の除去区域を設け、環境省の許可を得て水草の除去および除去前後の湖水流動観測を実施した結果、水草の除伐によって試験水域における流速が一定程度回復し、球状マリモの生育環境の改善にとって有効な手段であることが確認された。また、除伐された水草の 90%以上は阿寒湖に広く、かつ大量に現存する普通種のセンニンモ、マツモ、エゾヤナギモで、過去の調査で記録されていたシャジクモ類などの RDB 掲載種は消失している実態が判明したことから、チュウレイ湾における水草の除去が、センニンモ、マツモ、エゾヤナギモの生物多様性に及ぼす影響は限定的で、逆に、マリモの生育環境のみならず、同湾における生物多様性の回復に役立つ可能性が示された。
- ③平成 28 年 8 月に大型台風が連続して北海道に上陸したことで、チュウレイ湾の浅瀬に繁茂していた水草が大量（湿重量で約 121.8t と推定）に流失したことが確認されたため、水草流失に伴う植生（マリモおよび水草）ならびに湖水動等の変化を把握すべく、平成 29 年度にチュウレイ湾全域における植生の生育分布状況を調査するとともに、湖水流動等の観測を実施した。その結果、水深 4.0m 未満の浅瀬に繁茂していた水草の分布面積が平成 23 年と比較して約 8 割縮小する一方、水草が流失した水域に浮遊型のマリモが入り込んだことで、マリモの分布面積が約 4 割拡大していることを確認した。また、水草が大量に流失したことで、マリモの回転に要される強風時（風速 5m/s 以上）の振動流速が増加し、マリモの生長にとって良好な流動環境に近づいた可能性が示唆された。

(2) マリモ群生地における水草の持続的な管理に向けた課題

平成 28 年 8 月に上陸した大型台風によって、同湾の浅瀬に繁茂していた水草の約 8 割が流失したと推定されたが、図 2-4-7 および図 2-4-8 に示したとおり、水草は依然として湾内の全域に低密度で残存しており、現状のまま事態が進行すればマリモ群生地が水草にとって代わられる可能性が高い。このため、今後も引き続き水草の除伐等によるマリモ群生地の環境回復に努める必要があるが、長期にわたることが予想される水草対策を持続的かつ効果的に実施していくためには、本事業で得られた知見に加え、以下に示した課題についての調査検討が求められる。

①マリモの生育状況回復に要される水草の刈取り量および刈取り範囲の検討

平成 27 年に実施した水草の除伐試験によって、水草の除伐が球状マリモの生長に要される湖水流動の改善に寄与する可能性が示唆されたものの、湾内に生育する水草をどの場所でどの程度刈取る必要があるかを定量的に評価するまでには至っていない。また、阿寒国立公園の特別保護地区に含まれる同湾での水草除伐作業は、マリモ生育環境の改善のために環境省が特例として許可した行為であり、過度な除伐は極力避けなければならないのが実状である。

折しも、平成 28 年 8 月の大型台風が起こした大規模な攪乱によって水草が大量に流失したことで、平成 22 年頃から始まったマリモから水草への植生遷移が初期（水草が繁茂する以前）に近い状態まで戻されたものと推察された（遷移のリセット：図 3-1-1 参照）。今後、水草の生育分布状況が回復するのに伴って遷移が再び進行し、マリモの生育状況が再び悪化するものと予測されるが、遷移の進行を初期の状態から追跡調査し、マリモの生育が再び悪化に転じた状況を確認することができれば、マリモ群生地における水草の許容量や許容範囲に関する知見が得られるとともに、水草の刈り取り量や範囲の基準を判断することができるようになるだろう。そのためには、水草の生物量やマリモの生育状況を把握するための定期的なモニタリングが重要となる。

②刈取った水草の活用に関する検討

除伐試験によって刈取られた水草は、釧路市が借用しているチュウレイ湾奥の敷地内に施肥する形で処理していたが、上述したモニタリングの結果等によって、広範囲の水草を除伐する必要に迫られた場合、水草を処理するための敷地の確保が困難となる恐れがある。一方、阿寒湖と同様に水草の過増殖が問題となっている滋賀県の琵琶湖や島根県の宍道湖などでは、刈取った水草を野菜畑の肥料や家畜の飼料として活用するための事業が官民一体となって進められている。このような事例を参考に水草活用の可能性を検討することは、刈取った水草の措置に関する課題の解決だけでなく、地域資源を活用した新たな事業展開にも繋がるものと期待される。

③水草の刈取り方法に関する検討

本事業では、除伐試験水域内における水草の生物量や体長、種構成を把握するため、水草の除伐にあたってはダイバーが素手で水草を根元から除去する必要があったが、一連の調査によってチュウレイ湾における水草の生育実態が明らかになったことに加え、今後は除伐対象範囲が広がるものと予想されることから、水中での作業を要しない効率的な水草除去方法について検討を進める必要がある。

④実施体制に関する検討

本事業における水草除伐試験の実施にあたっては、阿寒湖のマリモ保全推進委員会の関係者が中心となって取り組んできたのが実状であるが、人材の確保だけでなく、マリモの保護活動への理解を広く喚起する意味においても、今後は市民参加型のボランティア活動としての展開を目指す必要がある。そのためには、指導者の養成や活動プログラムの構築等、実施体制の整備に向けた検討が要される。

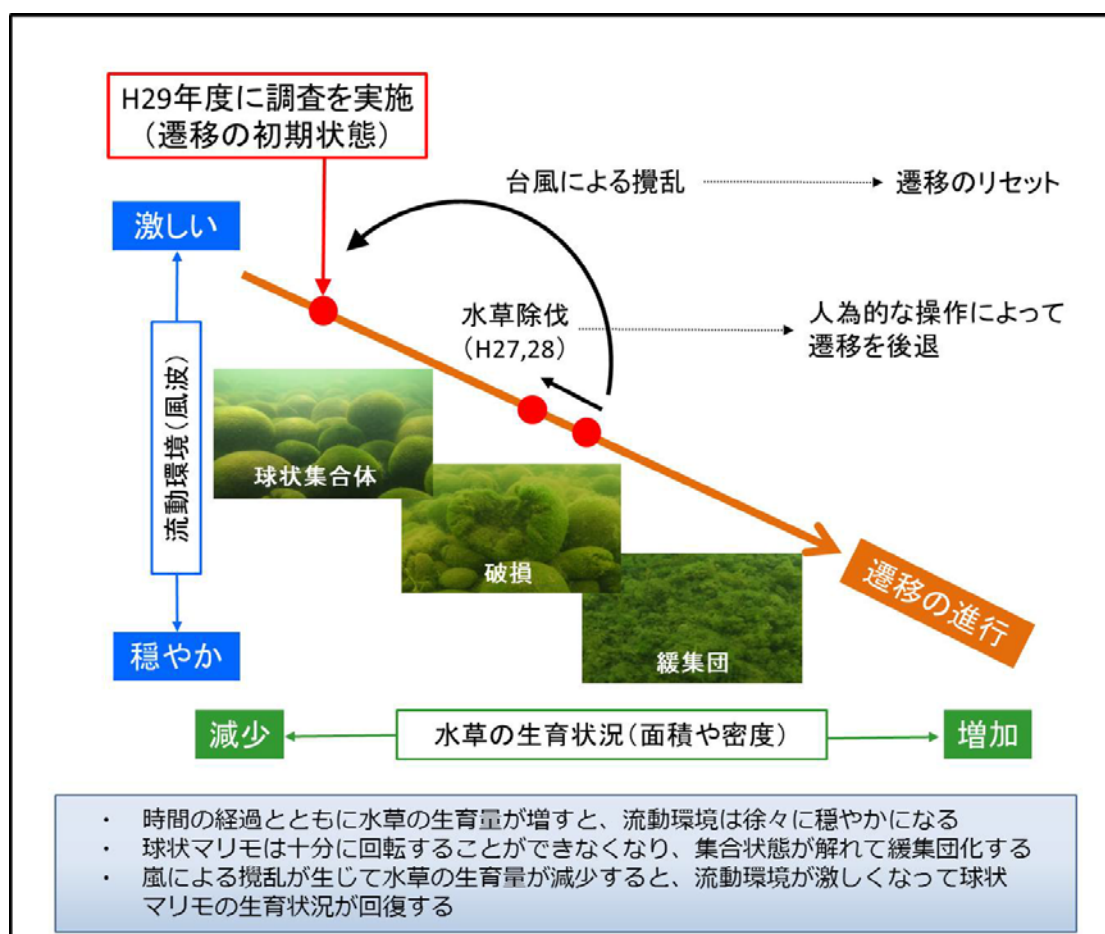


図 3-1-1 風波（攪乱）による遷移のリセットの概念図と本事業の位置づけ

年次報告資料

平成26年度 球状マリモの生育悪化要因に関する 物理環境等の現地観測結果

平成26年度 第2回阿寒湖マリモ科学委員会

平成26年12月25日（木）16時～18時

いであ株式会社

背景と目的

▶ 背景

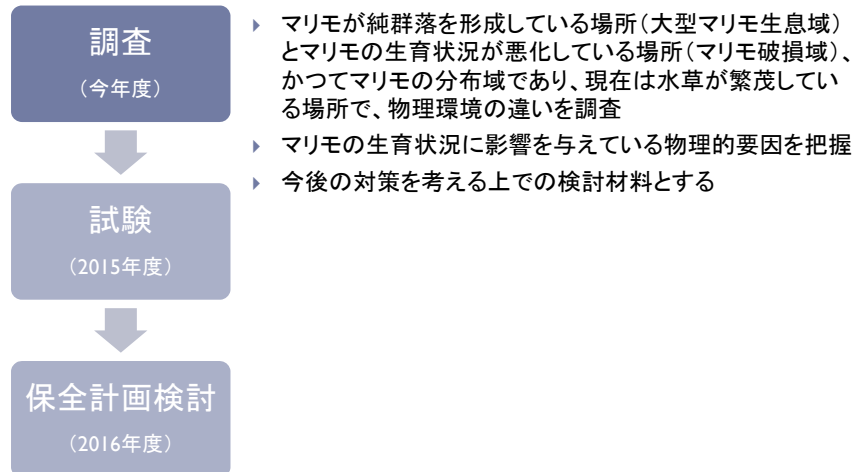
球状マリモが生育しているチュウレイ湾においては、近年になってマリモ以外の水生植物（マツモ・エゾヤナギモ等）が生育を拡大させておりマリモの球状化に必要な風波による底層の往復流を減衰させることなどにより、球状マリモの生育状況を悪化させている可能性が指摘されている。

▶ 目的

本調査では、以下の2つを目的として、球状マリモ生育地（チュウレイ湾）における物理環境等の調査を実施した。

1. 球状マリモの生育状況の悪化要因を把握する
2. 今後の対策の方向性ならびに効果把握のための指標を設定する

調査の位置づけ



▶ 3

IDEA Consultants, Inc.

調査概要

- ▶ マリモの生育に影響を与えている要因として以下の観測項目について調査を実施した

観測項目	観測地点	概要
底質 (粒度組成、強熱減量)	St.1～3	<ul style="list-style-type: none"> 潜水土による柱状採泥を行い、表層泥を分析 8月下旬に採泥
流向・流速	St.1～3	<ul style="list-style-type: none"> 3次元微流速計による連続観測(湖内底層の流動状況の把握) 8/27～9/12まで17日間実施
クロロフィル 濁度	St.1～3	<ul style="list-style-type: none"> クロロフィル濁度計による連続観測(湖内底層のクロロフィルおよび濁度の把握) 8/27～9/12まで17日間実施
光量子	St.1～3	<ul style="list-style-type: none"> 光量子計による連続観測(湖内底層の光量子の把握) 8/27～9/12まで17日間実施
風向・風速	St.4 (チュウルイ島南側)	<ul style="list-style-type: none"> 地上7.5mの高さで風向・風速の連続観測 8/27～9/12まで17日間実施

▶ 4

IDEA Consultants, Inc.

調査概要（地点の概況）



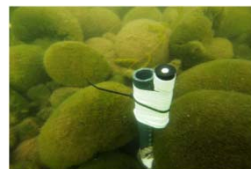
St.3: 水草繁茂域

➤ 水生植物が優占する地点。以前は球状マリモが優占していたが、水生植物におきかわった



St.1: 大型マリモ生息域

➤ 球状マリモの生育が良好であり、純群落の地点。
➤ 以前は小型の球状マリモが優占しており、ここ数年大型化している。



St.2: マリモ破損域

➤ 球状マリモの生育が悪化している地点。
➤ 以前は球状マリモが優占していたが、生育状況が悪化（扁平となり砂を被っている）し、その他の水生植物と混成している



※水草の分布は2011年時点のものであり、現在はさらに分布域を広げている

5

IDEA Consultants, Inc.

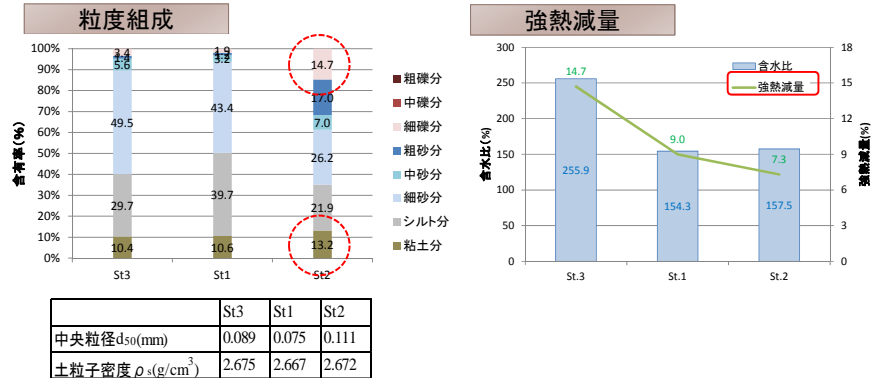
底質調査結果

調査項目	St.3	St.1	St.2
底質の様子			
水深(m)	2.1	2.1	2.1
泥温(℃)	26.8	19.4	19.5
性状	砂混じりシルト	砂混じりシルト	砂混じりシルト
臭気	弱腐敗臭	—	弱土臭
泥色	オリーブ黒色	暗オリーブ褐色	暗オリーブ褐色
混入物	植物片	植物片	植物片
備考	植物片が多い。	マリモを除く底質を採取。	マリモを除く底質を採取。 泥表層は粗砂が混じり、泥色も黒色を呈す。

6

IDEA Consultants, Inc.

底質調査結果



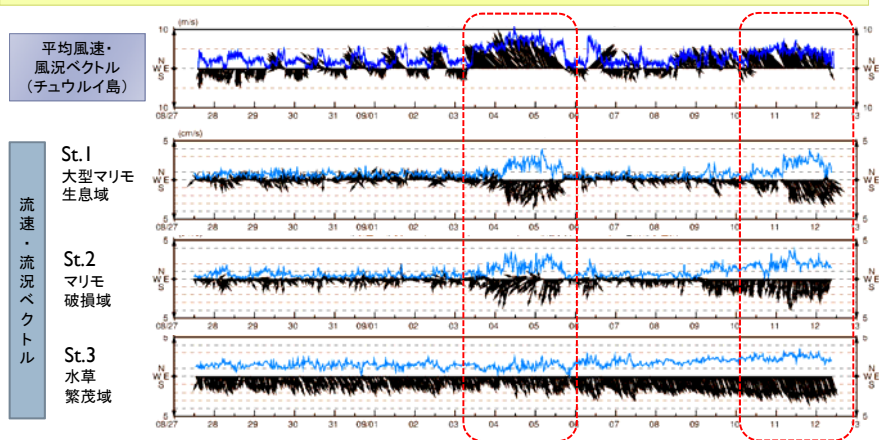
- ▶ 粒度組成: St1とSt3はシルト・細砂が主体であるが、St2は中砂や粗砂の割合も多くなっていた。中央粒径はSt1: 0.075mm、St3: 0.089mm、St2: 0.111mmであった。
- ▶ 強熱減量: 水草繁茂域のSt3は含水比と強熱減量が高い。St1とSt2の含水比は同程度だが、強熱減量はSt2に比べてSt1がやや高い

7

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果 (風向・風速、流向・流況)

- ▶ St.1とSt.2は、平常時には流速は小さかったが、南風の卓越時に平均流速が大きくなった。また、南風卓越時に南向きの流況ベクトルが卓越した。
- ▶ St.3は、他の2地点とは異なる傾向を示し、南風の卓越に関係なく、常に南向きの流れが卓越した

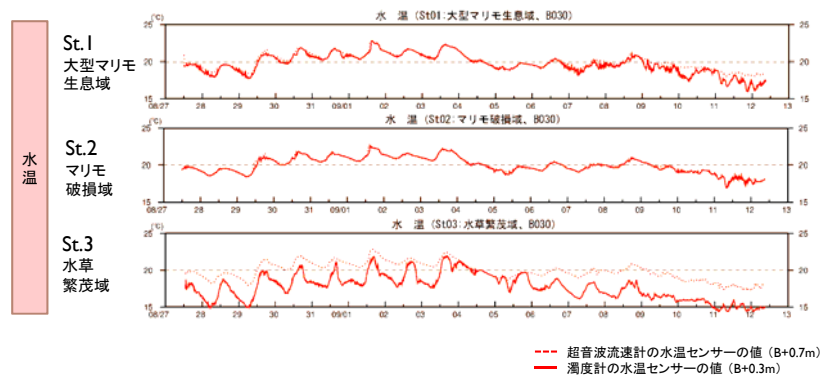


8

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果（クロロフィル・濁度・光量子・水温）

- ▶ クロロフィル・濁度は各地点で同じ挙動を示しており、南風卓越時に高い値を示した
- ▶ 光量子は各地点で同等程度であり、南風卓越時に低くなった
- ▶ 水温は、St.1と2は同等程度であったが、St.3は、他2地点と比べ底面から0.7m地点と0.3m地点の水温に差があった



9

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果まとめ

観測項目	結果
風向・風速	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平常時には日変動(昼間は南風、夜間は北風となる)が存在した ・ 9月4日から5日と9月9日から、南風の卓越する期間が存在した
流向・流速	<ul style="list-style-type: none"> ・ St.1とSt.2は、通常は1cm/s前後で推移しているが、風速が大きくなると風の影響を受けていた ・ St.3は他の2地点と傾向が異なり、常に1〜2cm/s程度の流速であった
クロロフィル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3地点とも同様の挙動を示した。
濁度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 南風卓越時の値の上昇は、巻き上がりによるものと考えられる(現地でアオコ等が観測されていないため)
光量子	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3地点とも同様の挙動を示した。 ・ 南風卓越時は濁度の上昇により、平常時に比べ低い光量子を示した
水温	<ul style="list-style-type: none"> ・ St.1とSt.2は、概ね20°C前後で、類似の傾向を示した。 ・ St.3は、他2地点と比べ底面から0.7m地点と0.3m地点の水温に差があり、<u>河川水等の影響が考えられる</u>

- ▶ St.3は、他2地点と比較して流向・流速と水温が異なる傾向を示し、河川等の影響を受けている可能性がある。
- ▶ St.1とSt.2は、全ての項目で類似した傾向を示していたが、両地点のマリモの生育状況は異なる。
- ▶ マリモの成長に必要な回転運動の外力(波による振動流)について、調査地点間の違いを考察し、マリモの生育状況に与える影響をさらに詳細に検討する。



10

IDEA Consultants, Inc.

- ▶ 振動流の違いが、地点間の違い(空間的な差異)を生じさせ、マリモの生育環境に影響しているか可能性を検討する。
- ▶ 一定以上の流速の出現状況が検討するため、湖底上0.3mの流速データを用いて、流速出現頻度を解析した。
- ▶ また、振動流の周期性に着目し、周波数スペクトルを解析した。



IDEA Consultants Inc.

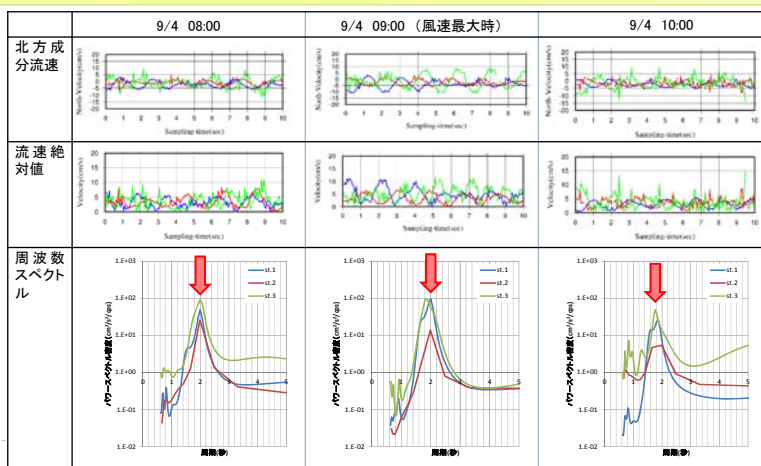
- ▶ St.1とSt.3は、振動流速の頻度分布が同じ傾向にあった。
- ▶ マリモ分布域のSt.1とSt.2を比較すると、St.2の流速が弱い傾向にあった。特に**速度の大きい波の出現頻度が低く**、マリモを回転させる力が、弱い場となっている可能性が示唆された。



IDEA Consultants Inc.

考察1-2：MEM法による周波数スペクトル解析

- ▶ 9/4の風速最大時(9:00)およびその前後の解析結果を以下に示す。
- ▶ スペクトルは周期1.8~2.0秒付近にピークがあり、周期的な流速変動が卓越している。
- ▶ St.2は、St.1に比べてパワースペクトル密度が小さく、底面の振動流速が小さい傾向にある



▶ 13

考察2 (時間的变化)

- ▶ St.1とSt.2はマリモ群落構造が変化してきている。
(St.1: 小型マリモ→大型化、St.2: かつての生育適地→マリモ破損域)
- ▶ 成長して直径の大きな球状マリモほど大きな空洞を有し、比重が小さくなるため、水流によって移動しやすくなる。^{※1}
- ▶ 山本らの研究^{※2}により、両地点でのマリモの変化は、底面付近での流速の減少、すなわちマリモを回転させる力が弱くなってきていることによる可能性がある。
- ▶ 物理的要因の時間的な変化がマリモの生育環境与える影響について検討した。



資料) 若葉先生提供の水草分布データにより作成。背景は湖沼図(昭和53年)

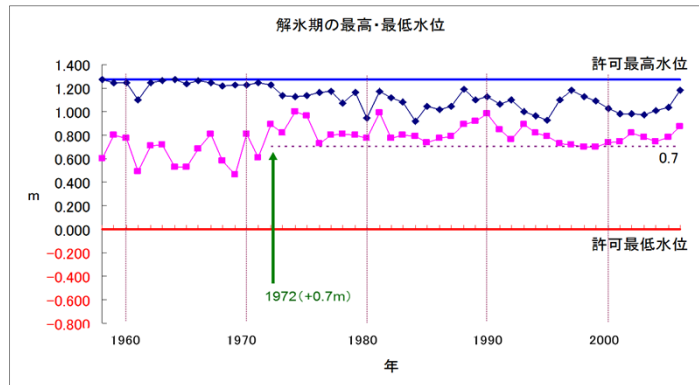
▶ 14

※1 阿波湖のマリモ保全対策協議会「マリモ保護管理計画」2012

※2 山本省吾ほか「阿波湖シュウレイ湖におけるマリモの混生打ち寄せ・打ち上げ気候に関する考察」(海岸工学論文集 第50巻、611-615、2003)

考察2-1：水位変化

- ▶ 水位が上昇すると、同じ波高でも湖底の振動流が小さくなる。
- ▶ 阿寒湖の水位は2000年から2006年まで上昇傾向にあるが、30年程度のスパンでは湖水位は安定的に維持されている。



資料) 若葉先生提供の水位データを元に作成

▶ 15

IDEA Consultants, Inc.

考察2-2：水草繁茂による波浪の減少 (既往文献整理)

諏訪湖の現地観測

豊田ら(2011)は諏訪湖のヒシ除去後の水草帯内外で水温・濁度・流速よりヒシが物理環境に与える影響を検討。以下の結果が得られている。

- 対照区(ヒシ繁茂区)では、ヒシ除去区や湖心と比べて、水が停滞していることが多く、鉛直混合し難い
- 諏訪湖ではヒシが表層の水流動の抵抗になっている

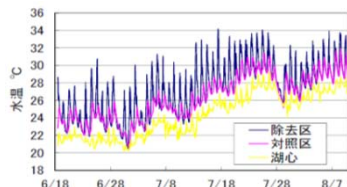


図-5 対照区、除去区、湖心の表層水温 (全観測期間)

出典) 豊田政史他(2011): 諏訪湖におけるヒシの試験刈り取りが水環境造成に及ぼす影響, 水工学論文集, 第55巻

霞ヶ浦湖岸1/2スケールの室内実験

大石ら(2010)は霞ヶ浦湖岸1/2スケールの大型水路と模型植物を用いて波高や遡上高さの減衰効果について検討を行った。

- 沈水植物が波の浅水変形の起こり始める水深から汀線付近まで広く存在する場合、波浪低減が大きくなる
- 波浪減衰効果を発揮するには波が作用する位置に植物体が密に存在することが重要

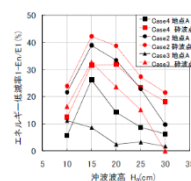


図-5 各ケースのエネルギー低減率

出典) 大石哲也他(2010): 沈水植物の波浪低減効果に関する研究, 水工学論文集, 第54巻

表-1 実験ケースと条件

Case	実験波高		遡上高	波速	沈水植物配置	
	(m)	(m)			水深(m)	設置間隔(m)
Case1	0.1	0.15	1.5	1	0.3-1.1	0.07
Case2	0.15	0.2	1.5	1	0.3-0.7	0.07
Case3	0.2	0.25	1.5	1	0.3-1.1	0.14
Case4	0.3	0.35	1.5	1	0.3-1.1	0.14

▶ 16

IDEA Consultants, Inc.

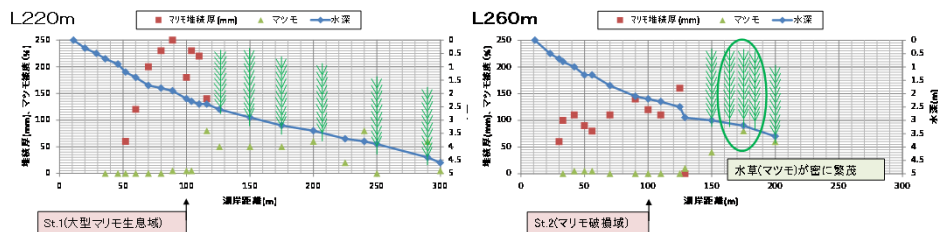
考察2-2：水草繁茂による波浪の減少 (チュウルイ湾の水草繁茂状況)

- ▶ チュウルイ湾における水草の繁茂状況は以下のとおりである。



2013年7月20日、北海道新聞撮影

左：2014年8月27日、右：2011年9月29日



資料) 若葉先生提供の2014年ラインセンサス結果を元に作成

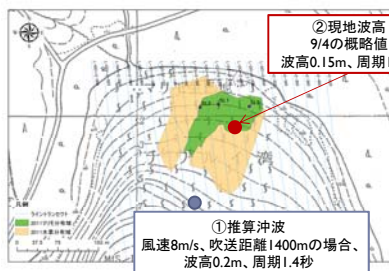
▶ 17

IDEA Consultants, Inc.

考察2-2：水草繁茂による波浪の減少 (概略検討)

- ▶ チュウルイ湾に繁茂した水草(マツモ等)がマリモ生息域の波浪と流れをどの程度減衰させるかを以下の方法で概略検討した

1. チュウルイ島の観測風速と有効吹送距離からSMB法でチュウルイ湾中部(水深5m付近)の沖波(波高、周期)を推定
2. 上記沖波がマリモ生息域(水深2m付近)に到達した際の波高を浅水係数(岩垣ほか)を用いて推定
3. 北見工業大学 中山教授よりご提供頂いた水深2m付近の波高観測値(概略)は、沖波がマリモ生息域に伝播するまでに水草によるエネルギー損失(波高減衰)を受けた結果と仮定し、2)の理論値との波高比を算出



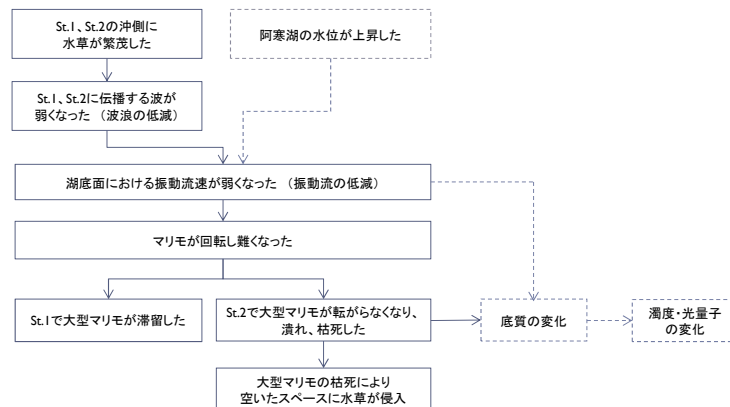
沖波が水草繁茂域を伝播してマリモ生息域(水深2m程度)の水域に到達すると、約7割に波高が減衰する可能性が示唆された

▶ 18

IDEA Consultants, Inc.

まとめ

- ▶ 本調査の結果より球状マリモの時間・空間的な変化に関して以下が要因となっている可能性が示唆された



▶ 19

IDEA Consultants, Inc.

今後の保全対策の方向性

調査
(2014年度)

- ▶ マリモ破損域では大型マリモ生息域よりも、マリモの回転に必要な波の振動流が小さい傾向にあった (ただし、流速に違いが生じている要因は今後の課題)
- ▶ 水草がマリモ生息域の振動流を減衰させている可能性が示唆された

試験
(2015年度)

- ▶ 今年度の検討結果をうけ、マリモの保全に有効な対策を試験的に実施(水草の伐除)する。
- ▶ 今年度検討した指標により、マリモの生育環境(物理環境)改善の効果を把握する。
- ▶ 試験結果をまとめ、保全計画を立てる検討材料とする。

保全計画検討
(2016年度)

▶ 20

IDEA Consultants, Inc.

次年度の検討課題（水草伐除試験）

- ▶ 試験の目的
 - ・ 水草を伐除することで、マリモの生育環境が改善するかを把握する。
 - ・ 効果的で実効性のある試験の方法・規模・実施時期等を検討する。
- ▶ 試験実施場所 : マリモ生育域の南側（マリモ群落の沖合で実施）
- ▶ 試験方法 : 水草を伐除／刈取る
- ▶ 試験規模・形状 : 下表に示す指標を決定後、目標から逆算して決定する
- ▶ 指標 : マリモの生育環境を代表するものであり、把握が比較的容易なものが望ましい

指標(候補)	検討	適用性
底質(粒径)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水生植物や球状マリモの影響を受け、必ずしも球状マリモの生育環境を代表する指標とはならない可能性がある。 ・ 河川からの土砂供給の影響を受ける可能性もある。 	×
濁度・クロフィル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水生植物や底質の影響を受け、必ずしも球状マリモの生育環境を代表する指標とはならない可能性がある。 ・ アオコの発生等の影響を受ける可能性もある。 	×
光量子	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水生植物や底質の影響を受け、必ずしも球状マリモの生育環境を代表する指標とはならない可能性がある。 ・ アオコの発生等の影響を受ける可能性もある。 	×
流向・流速	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今年度の検討において、St.1とSt.2の球状マリモの生育環境の違いを、振動流の強さで表すことができた。但しマリモ直上の流速は影響を受けるため、流速計の設置を工夫する必要がある。 	○
波高・周期	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水草繁茂域の南縁、マリモ生息域の南縁において波高・周期を観測すれば、水草の有無による波浪低減効果を現地で直接把握することが可能と考えられる。 	○

平成27年度調査報告

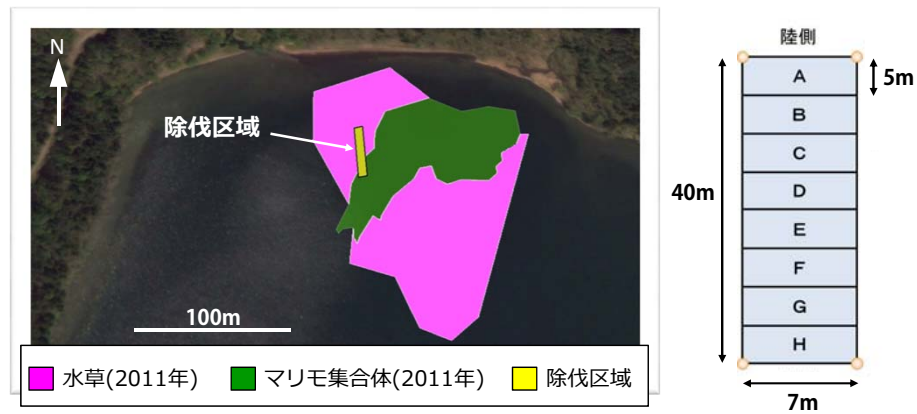
マリモ生育地における水草の除伐試験 －増殖した水草群落の種構成と生物量－

釧路市教育委員会マリモ研究室

背景および目的

- 平成26年度の調査結果をふまえ、本年度は水草の繁茂がマリモの生育に及ぼす影響を流動環境の変化から検討・評価するため、水草の除伐試験を実施した。
- 試験対象水域が阿寒国立公園の特別保護地区に含まれることから、マリモの生育状況を始め、在来の水生生物の生物多様性に対する不可逆的な影響を及ぼさないよう配慮した。
- このため、本年度は除伐前後の流動環境変化を観測すると共に、マリモ生育地における水草の生育状況ならびに種構成を把握することを目的とした。

手法 - 水草除伐試験区域 -



今回設定した除伐試験区域と2011年のマリモおよび水草の分布状況

- ・マリモ集合体の西側に位置する水草帯に東西7m、南北40mの範囲に除伐試験区域を設定。
- ・更に同試験区を8区画に分類（区画A～H）。

3

手法 - 水草除伐方法 -



ダイバーによる水草刈取りの様子
(2015年7月29日 毎日新聞)

- ・7月28, 29日の2日間でダイバー3名による素手での全量刈取りを実施。
- ・水草の形状が保持されるよう、湖底の根から刈取り。
- ・刈り取った水草は区画ごとにコンテナに収納し、動力船で湖岸に運搬。

4

手法 – 除伐した水草の処理・計測 –



ボランティアによる仕分け作業



湿重量の計測



体長の計測

- ・刈り取ったすべての水草は種ごとに分類し、各区画における湿重量を電子秤で計測した。
- ・また、各区画において水草種ごとにサンプルを抽出し、その体長を計測した。
- ・サンプルの一部は実験室に持ち帰り、オーブンで観測させたのち、乾燥重量を計測した。

5

手法 – ドローンによる空撮 –



Fantom 2 (いであ株式会社所有)



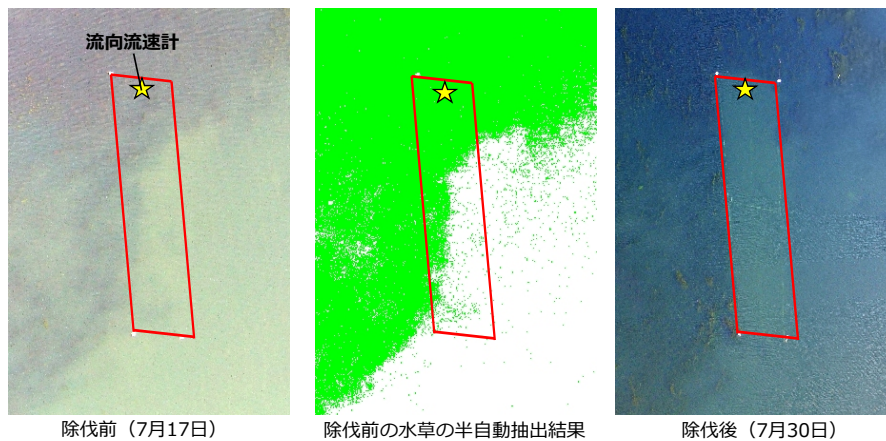
Fantom 2 による空撮の様子

- ・水草の除伐前（7月17日）および除伐後（7月30日）にドローンによるチュウレイ湾の空撮を実施し、試験区域の刈取り状況を確認すると共に、周辺の水草の分布状況を観測した。

・除伐前の空撮はいであ株式会社様に、除伐後の空撮は北海道大学の山田浩之先生にご協力を頂きました。

6

結果 – 水草除伐前後の空撮画像 –



水草除伐前後の空撮画像を比較した結果、除伐試験区域内のすべての水草が刈り取られており、流向流速観測のための水路が確保されていることが確認できた。

7

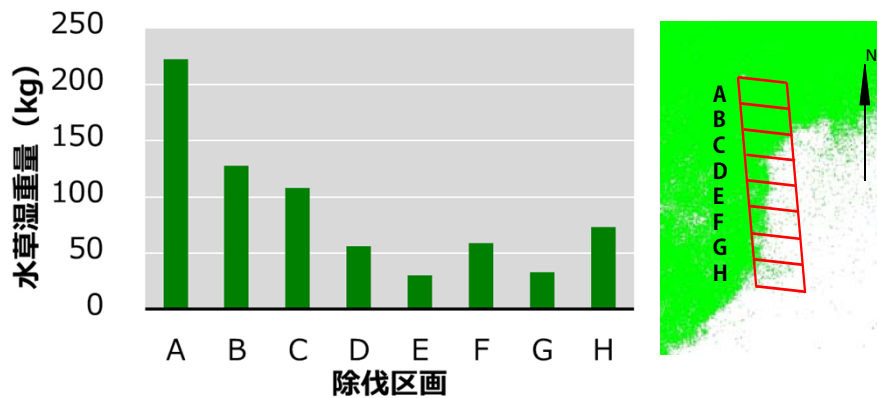
結果 – 除伐試験区域全体における水草の重量および面積 –

刈り取った水草の総湿重量	708.9 kg
刈り取った水草の総乾燥重量	61.0 kg
空撮画像から推定した 試験区域内の水草総面積	163.6 m ²
湿重量/水草面積	4.33 kg/m ²
乾燥重量/水草面積	0.37 kg/m ²

総刈り取り量は湿重量で約**0.7t**であり
刈り取り面積は推定で**163.6** m²であった

8

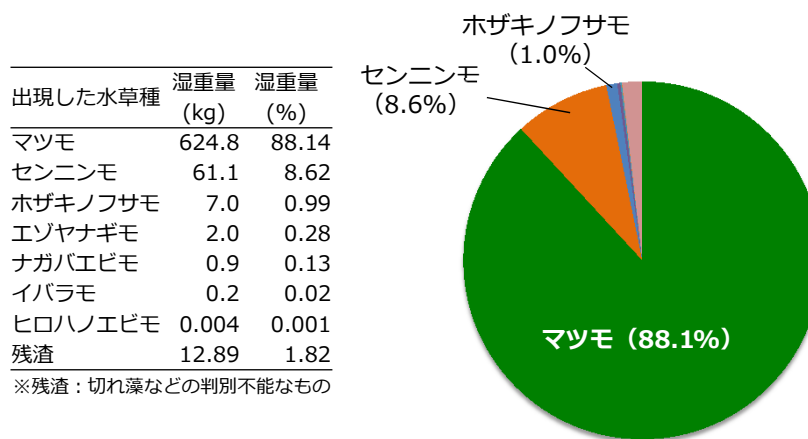
結果 – 各試験区画における水草の重量および面積の変化 –



各除伐区画の水草湿重量には生育密度を反映してばらつきが見られた

9

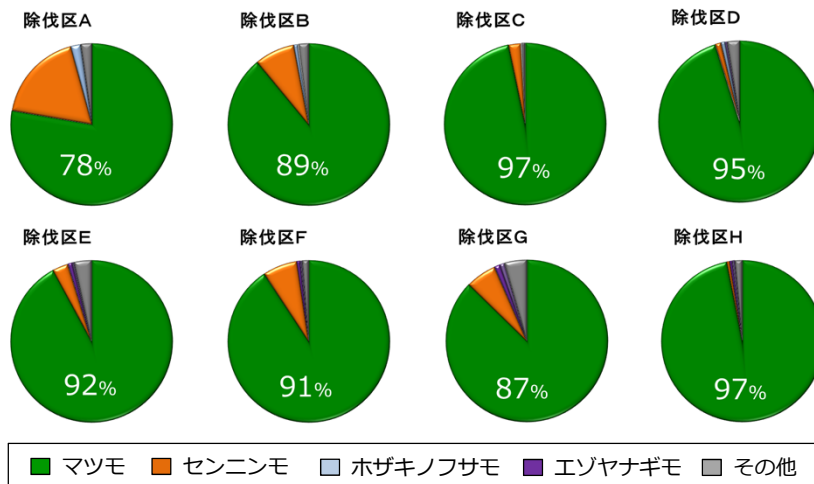
結果 – 除伐試験区域における出現した水草種およびその割合 –



出現した水草の種数は7種であったが、主な構成種はこれまでの目視観察結果と同様にマツモとセンニンモであり、この2種が全体の約97%を占めていた。

10

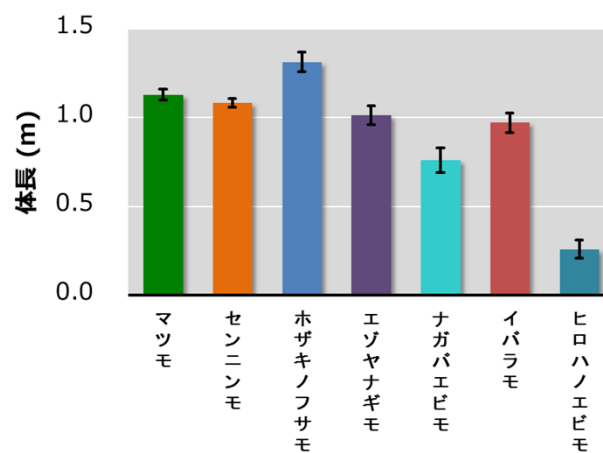
結果 – 各試験区画における水草種の割合の変化 –



除伐区Aにおいてセンニンモの割合がやや多いものの、
全体的に区画による構成種の違いは見られなかった

11

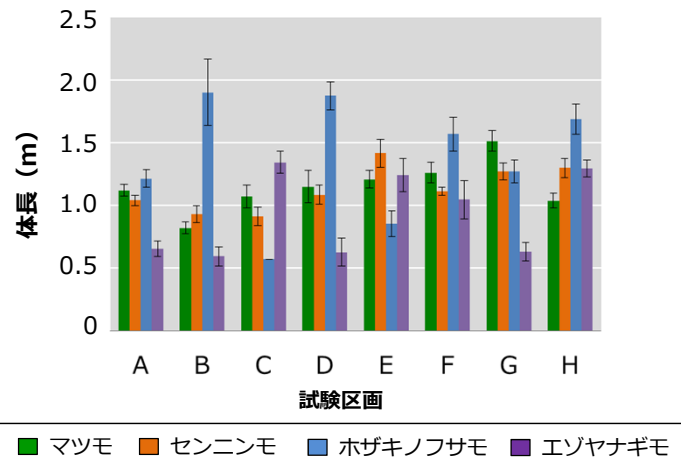
結果 – 除伐試験区域における水草の体長 –



体長はナガバエビモ・ヒロハノエビモを除いて1.0~1.3m 程度
であり、ホザキノフサモが最も体長が長く、次いでマツモ、セ
ンニンモ、エゾヤナギモの順となった。

12

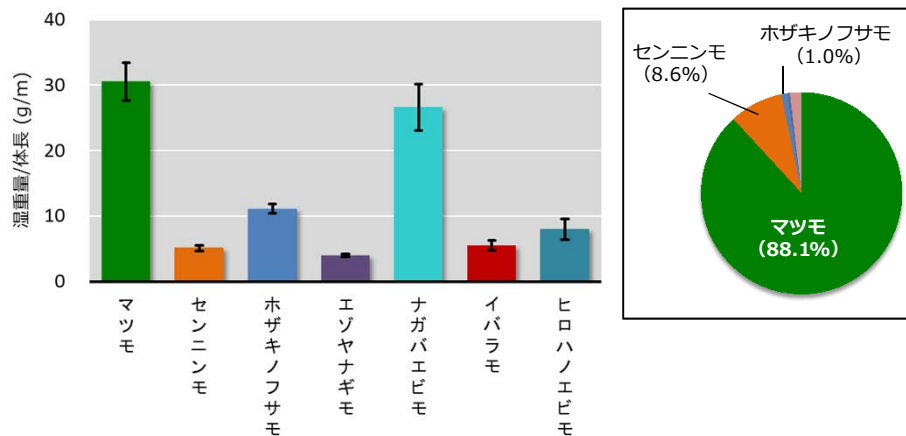
結果 –各試験区における水草の体長の変化–



ホザキノフサモを除き、除伐区画AからHにかけて（水深が深くなるにつれて）体長が長くなる傾向が確認された。

13

結果 –水草の体長と重量の関係–



体長に対する湿重量の割合はマツモおよびナガバエビモが他種と比較して非常に大きい。特に主な構成種であるマツモは空間に占める密度が高いことから、水中での壁の形成に大きく寄与していると考えられる。

14

考察 – 調査範囲における過去の種構成との比較 –

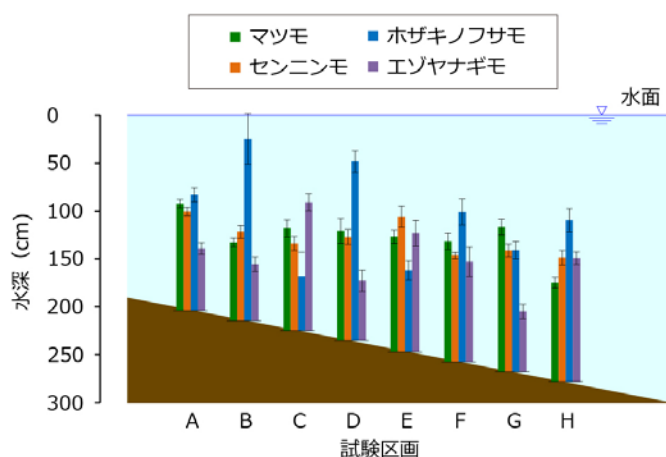
沈水植物	1997年	2015年 (本調査)	環境省RDB分類
エゾヒルムシロ	+	—	
ヒロハノエビモ	+	+	絶滅危惧 I A類 (CR)
ナガバエビモ	+	+	
センニンモ	+	+	
リュウノヒゲモ	+	—	準絶滅危惧 (NT)
イバラモ	(+)	+	
マツモ	+	+	
ホザキノフサモ	+	+	
カタシャジクモ	+	—	絶滅危惧 I 類 (CR+EN)

+: 確認 —: 未確認 (+): 他の調査地点で確認

1997年の調査結果と比較して、今回の調査では3種の水草が確認できなかった。また、確認できなかった2種については、環境省レッドデータベースの絶滅危惧 I 類および準絶滅危惧に分類される種であった。

15

考察 – 水草の体長と水深との関係 –



- この時期の水草は、ホザキノフサモを除いて葉茎が水面まで到達しておらず、水深約1.0～1.5 m程度まで伸長していた。
- マツモとセンニンモは成長状況が類似しており、ホザキノフサモとは異なっているため、これら3種のフェノロジーを把握する必要がある。

6

考察 –水の容積に占める水草帯の体積の割合(P V I)–

$$\text{PVI(Percent Volume Index)} = \frac{\text{水の容積(除伐区画面積} \times \text{水深)}}{\text{水草帯の体積(水草面積} \times \text{体長)}}$$

		試験区画									
		A	B	C	D	E	F	G	H		
陸側		56%	39%	35%	21%	17%	12%	6%	4%		沖側

- ・生育密度の最も高い区画AのPVIは56%に達する。
- ・PVIが15%を超えると魚に対する遮へい効果が発生すると言われており、本試験区域ではAからEの区画において魚への影響があったと予想される。

17

考察 –水草の面積と重量との関係–

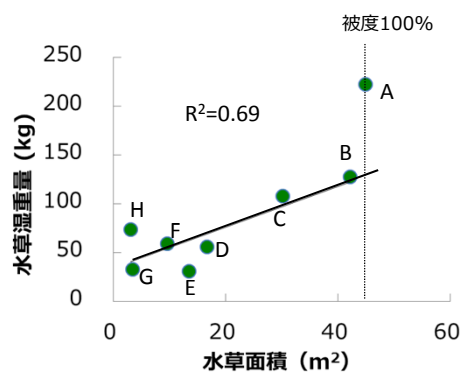


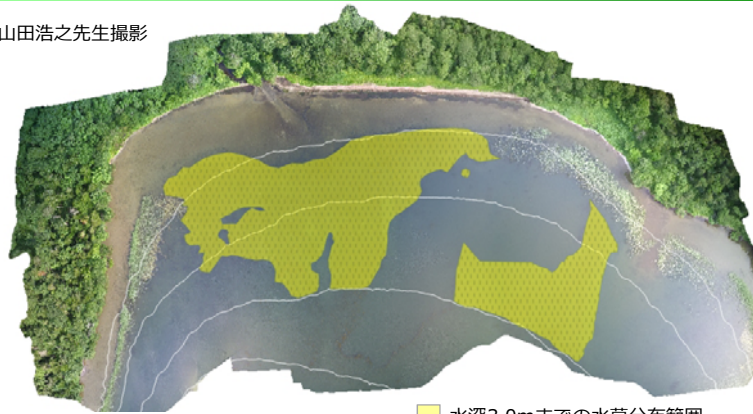
図. 各試験区画における空撮画像から推定された水草面積と現地で測定した水草湿重量との関係。図中のアルファベットは各試験区画を示す。

- ・区画A、Bの水草の被度は共に100%に近いことから、区画B～Hにおいて水草の湿重量と面積との相関をとった。その結果、 $R^2=0.69$ と高い関係性を示した。

18

考察 – チュウレイ湾における水草の生存量 –

北大 山田浩之先生撮影



水深3.0mまでの水草分布範囲

- ・空撮画像と潜水調査から水草分布域を推定した結果、水深3.0mまでの水草の分布範囲は約18,500m²と算出された。
- ・また、区画Aにおける単位面積当たりの水草重量、および区画B～Hの回帰直線の関係から水草湿重量をそれぞれ求めた結果、約38,800～80,100 kg (39～80 t) となり、 今回の除伐試験では全体の約1～2%を除伐したと推定された。

19

考察 – 国内湖沼における水草除伐の状況 –

湖沼名	阿寒湖 (2015年)	琵琶湖 ^{1,2)} (2007年)	達古武沼 ³⁾ (2004年)
主な除伐対象種 (割合は重量ベース)	マツモ (88%) センニンモ (9%)	センニンモ (56%) マツモ (13%) オオカナダモ (13%)	ヒシ (83%)
面積/湿重量 (kg/m ²)	4.33	0.57	0.13
除伐目的	マリモ生育環境の回復	腐敗による湖岸の悪臭 及び漁業被害への対策	湖沼生態系の再生
除伐方法	ダイバーによる 直接刈取り	漁具を用いた動力船に よる刈取り	船上から人力で 刈取り
除伐後の水草の 処理	湖岸の畑地に散布	全量堆肥化	環境省が管理する 付近の土地に散布
事業主体	釧路市教委 *文化庁補助事業	滋賀県	環境省

- 1) 滋賀県 (2010)
2) 芳賀・石川 (2011)
3) 環境省自然環境局 (2004)

20

まとめ

- 今回の水草除伐による総刈り取り量は湿重量で約**0.7t**であり空撮画像から推定された除伐面積は**163.6m²**であった。また、水深 3 mまでのチュウレイ湾全体における水草湿重量は約39~80tであり、今回は**全体の約1~2%を除伐**したと推定された。
- 除伐試験区域内に出現した水草の種数は合計 **7種**であったが、**全体の約97%がマツモとセンニンモ**で占めていたことから、これら2種がマリモ生育地回復のための除伐対象種となると予想される。
- 1997年の調査結果と比較して、今回の調査では3種（うち2種はRDB種）の水草が確認できなかったことから、同地域の**水草の種構成が単純化**（多様性が劣化）している傾向が確認された。
- **体長あたりの重量はマツモが他種と比較して圧倒的に高く**、水中の空間をほぼ独占していることから、同種の繁茂が水中の流動環境（水路形成等）に強く影響を及ぼしていると考えられた。

21

今後の方針

- 水草の除伐試験区域において、今回刈り取った水草の回復状況の継続的なモニタリングを実施する。
- 同地域での水草の除伐が阿寒湖全体の生物多様性に負の影響を与えないことを確認するため、チュウレイ湾を含む湖内各所における水草の分布・生育量を調査する。
- 同地域において、マツモとセンニンモが優占する原因を究明するため、湖内の環境（水温・光など）および水草の生理生態（フェノロジーなど）についての基礎的な知見を収集する。

22

平成27年度 球状マリモ生育状況悪化要因の把握のための 物理環境等の現地観測結果

平成27年度 第2回阿寒湖マリモ科学委員会
平成27年12月22日（火） 14時～16時

いであ株式会社

背景と目的

▶ 背景

- ▶ 球状マリモが生育しているチュウレイ湾においては、近年になってマリモ以外の水生植物（マツモ・エゾヤナギモ等）が生育を拡大させておりマリモの球状化に必要な風波による底層の往復流を減衰させることなどにより、球状マリモの生育状況を悪化させている可能性が指摘されている。

▶ 目的

- ▶ 水草の伐除がマリモ生育環境の改善に寄与し得るかどうかを実証することを目的として、以下の調査を実施。
 - ▶ 限定的な規模での除伐試験を実施
 - ▶ マリモと水草の分布・生育現況に関する現況ならびに各種環境項目に関する調査を実施
- ▶ 球状マリモの生育環境の回復における目標や指標として、流速等の物理環境が使用可能であるか、検討

昨年度調査の概要



St.3: 水草繁茂域

- 水生植物が優占する地点。以前は球状マリモが優占していたが、水生植物におきかわった

St.1: 大型マリモ生息域

- 球状マリモの生育が良好であり、純群落の地点。
- 以前は小型の球状マリモが優占しており、ここ数年大型化している。

St.2: マリモ破壊域

- 球状マリモの生育が悪化している地点。
- 以前は球状マリモが優占していたが、生育状況が悪化（扁平となり砂を被っている）し、その他の水生植物と混成している

観測項目	観測地点
底質（粒度組成、強熱減量）	St.1～3
流向・流速（底面直上）	St.1～3
クロロフィル	St.1～3
濁度	
光量子	St.1～3
風向・風速	チュウレイ島南側

水草がマリモ生息域の振動流を減衰させている可能性が示唆された

▶ 3

IDEA Consultants, Inc.

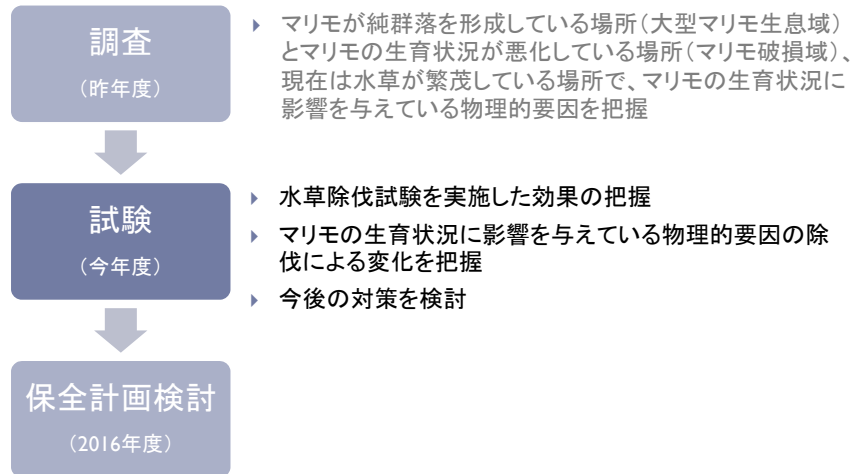
昨年度～第1回科学委員会における主な指摘

- ▶ 水草があると波動場が減少するという点について、一般論としては正しいが、昨年度の調査結果からこれを断言することは不可能。
- ▶ 底面付近の流速の差は底面粗度の違いが主要因として発生している。また、水深の違いにも影響を受けるため、流速計を利用する場合、底面境界層外で計測、水深と地形勾配が同じ箇所での計測することが必須である。

（いずれも中山委員からの指摘）

▶ 4

調査の位置づけ



▶ 5

IDEA Consultants, Inc.

今年度の実施内容

- 水草(主にマツモ)の除伐試験 (7月28日)
- 除伐試験の効果把握のための調査
 - マリモの生育に影響を与えている要因として以下の観測項目について調査を実施

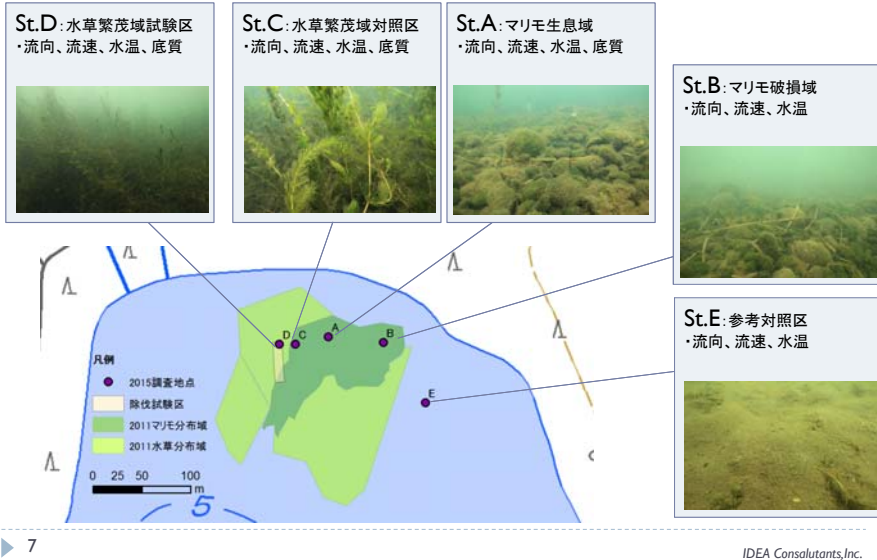
観測項目	観測地点	概要
底質 (粒度組成、強熱減量)	St.A, C, D	<ul style="list-style-type: none"> 潜水土による柱状採泥を行い、表層泥を分析 St.A、Cは昨年度と同じ地点 2015年8月10日に採泥
流向・流速・水温	St.A～D	<ul style="list-style-type: none"> 3次元微流速計による連続観測(湖内底層の流動状況の把握) 底面上0.3m及び1.5mの2層で計測 2015年7月17日～8月10日まで22日間実施
風向・風速	チュウレイ島東部	<ul style="list-style-type: none"> 地上7.5mの高さで風向・風速の連続観測 2015年7月17日～8月10日まで22日間実施

St.A: マリモ生息域 (マリモの生育状況が良好に変化した地点)
 St.B: マリモ破損域 (マリモの生育状況が不良に変化した地点)
 St.C: 水草繁茂域、対照区 (水草が侵入してマリモが消失し、植生が置き換わった地点)
 St.D: 水草繁茂域、試験区 (Cと同じ環境で、水生植物の除伐試験実施地点) ※新規
 St.E: 参考対照区 (水草やマリモの植生がない地点) ※新規

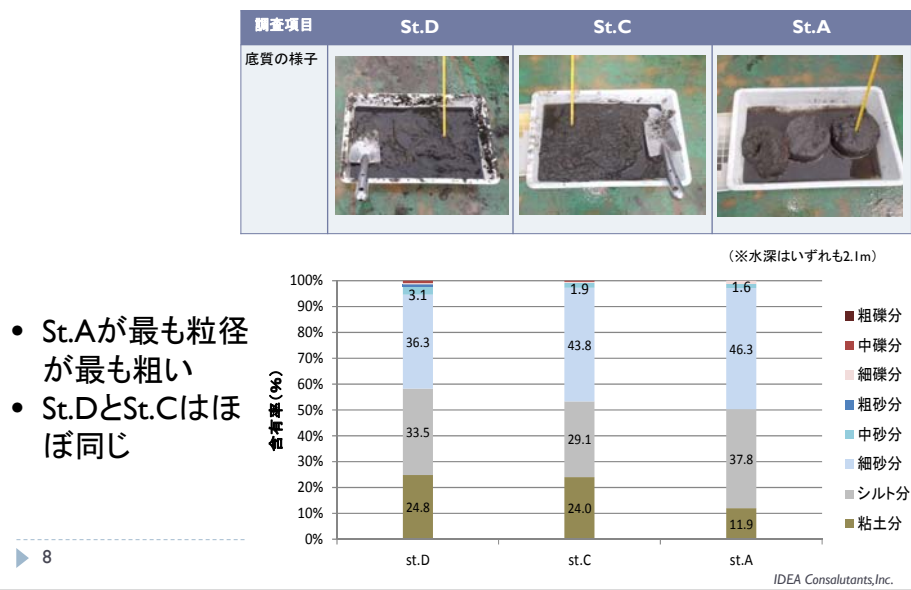
▶ 6

IDEA Consultants, Inc.

調査地点（地点概況）

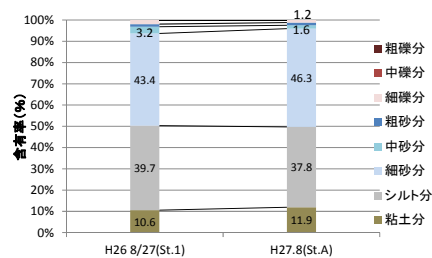


底質調査結果（地点間比較）

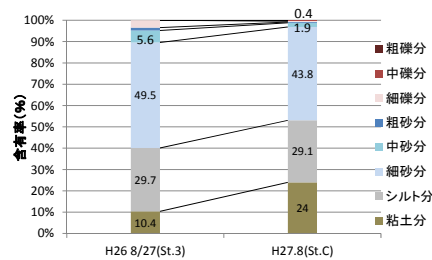


底質調査結果（昨年度との比較）

- ▶ St.A=比較的大型の球状マリモが存在する地点
- ▶ 昨年度とほぼ同じ粒径



- ▶ St.C=水草が繁茂し、球状のマリモがほとんど存在しない地点
- ▶ 昨年度に比べ、粘土分が増加

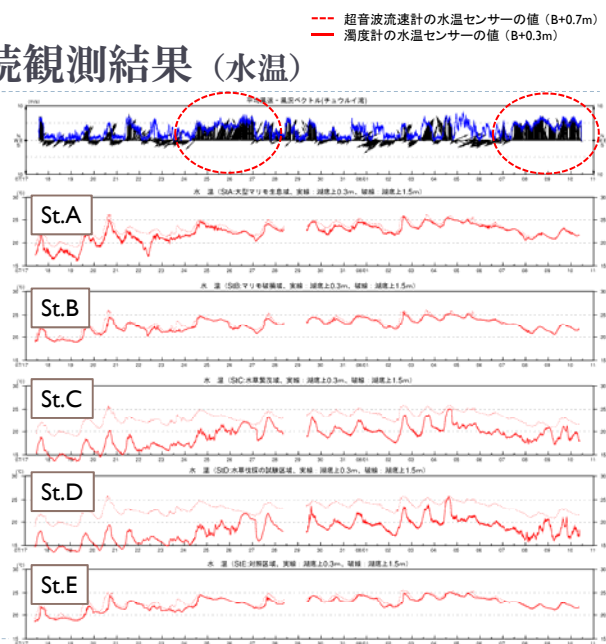


9

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果（水温）

- ▶ 以下の期間は南風が卓越
 - ▶ 7月24日～26日
 - ▶ 8月7日～10日
- ▶ St.A、B、Eは、底面から0.3mの水温と1.5mの水温にほとんど差が無い
- ▶ St.CとSt.Dは、底面から0.3mの水温が1.5mの水温に比べて低く、近傍の河川水が流れ込んでいる可能性がある

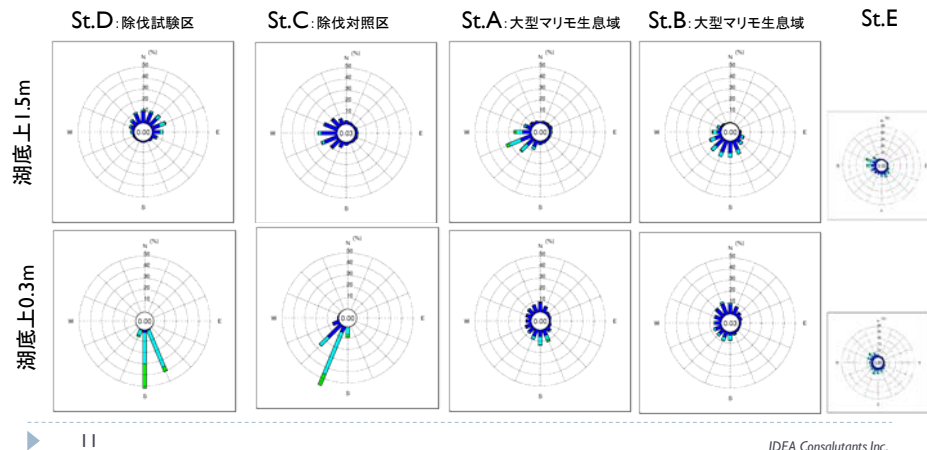


10

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果 (2分間の平均流の出現頻度)

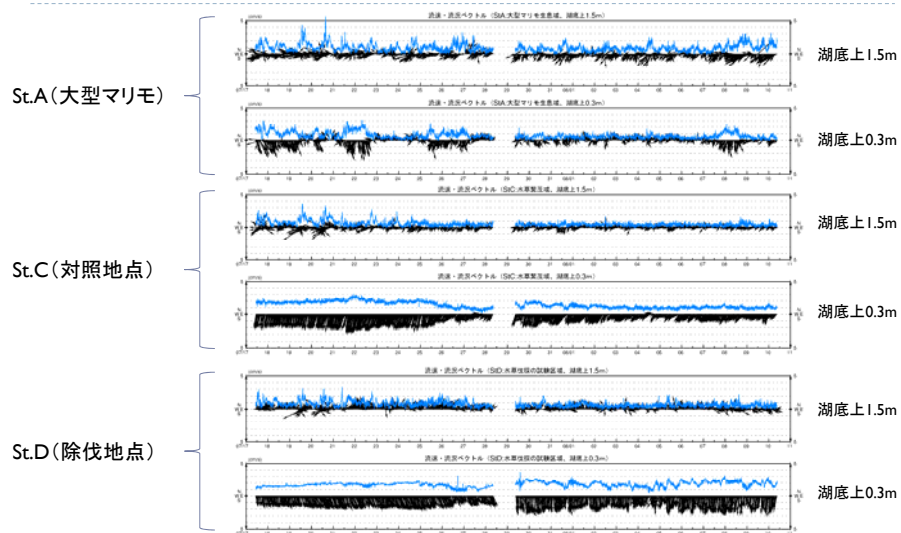
- ▶ St.CとSt.Dは、湖底上0.3mで南向きの流れが卓越していた。一方、他の地点ではこのような傾向は見られなかった。
- ▶ いずれの調査地点でも湖底上1.5mでは、特定の流向の強い流が卓越することはなかった



11

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果

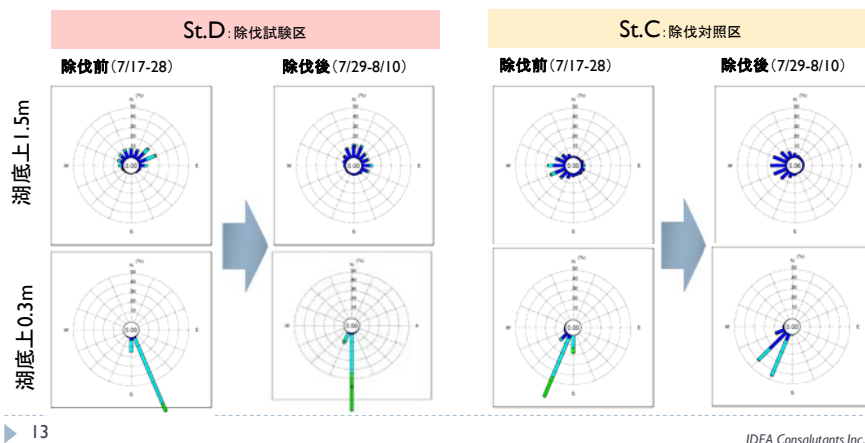


12

IDEA Consultants, Inc.

除伐前後の流向流速の変化（St.CとDの比較）

- ▶ 除伐試験を行ったSt.Dは、除伐前後で底面0.3mの主流向が変化した。
- ▶ 対照区であるSt.Cは、除伐前後で底面0.3mの主流向の変化は見られなかった。
- ▶ いずれの地点でも、底面1.5mでの大きな変化は見られなかった。



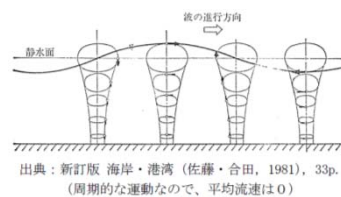
マリモの回転に関する条件と解析の視点

▶ マリモの回転に関する知見

- マリモが回転し始めるのは湖上10mの風速=4.88m/sを超えるとき
- 湖底面付近は、水粒子の回転方法が逆となるなど、複雑な水の動きが存在する

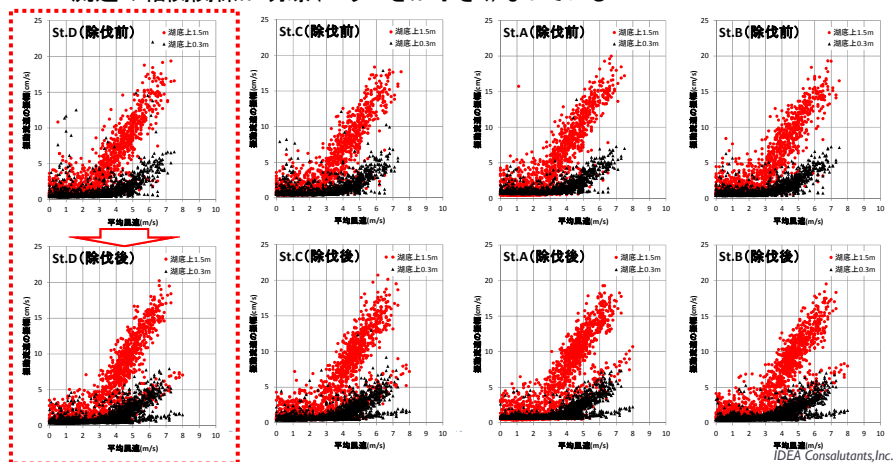
(中山恵介・若菜勇他(2015):マリモ球状体に回転運動を引き起こす阿寒湖チュウレイ湾の風波特性,土木学会論文集B3(海洋開発),Vol.71,No.2,pp.945-950)

- ▶ 振動流に注目
- ▶ 風との関係に注目
- ▶ 湖上1.5mで解析



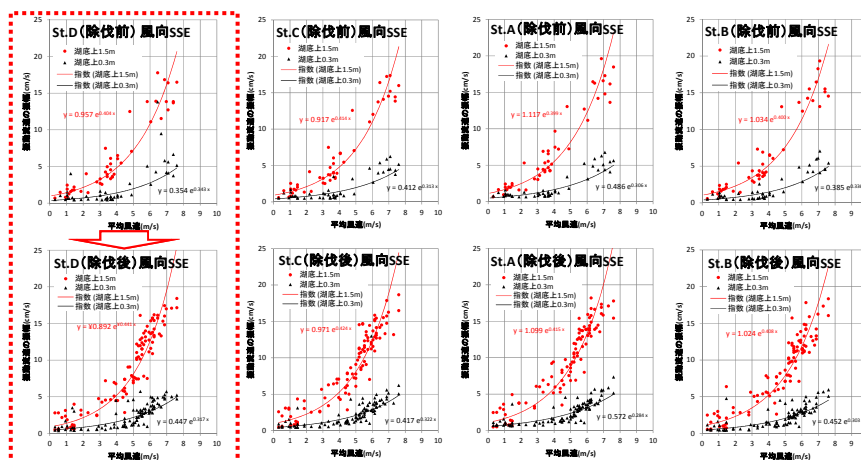
振動流と湖上風との関係解析

- 風速の増加によって湖底近傍の波の振動流速振幅も大きくなる
- 湖底上0.3mの振動流速は湖底上1.5mの流速よりも小さい
- St.D(試験区)に着目すると、水草除伐前に比べて除伐後の方が平均風速と振動流速の相関関係が明瞭(バラつきが小さく)なっている



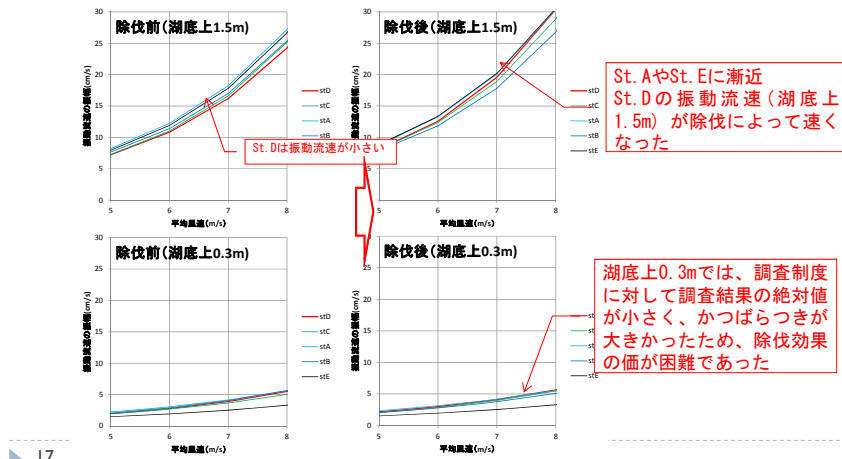
振動流と湖上風との関係解析 (風向：南南西の時のみ)

- St.Dでは、除伐前に比べ、除伐後の方がデータのばらつきが減り、傾きが急となった(湖底上1.5m)
- ただし、他の地点もやや傾きが急となった



振動流と湖上風との関係解析（風向：南南西）

- ▶ 除伐によってSt.Dの湖底上1.5mの流速が相対的にも速くなっていた

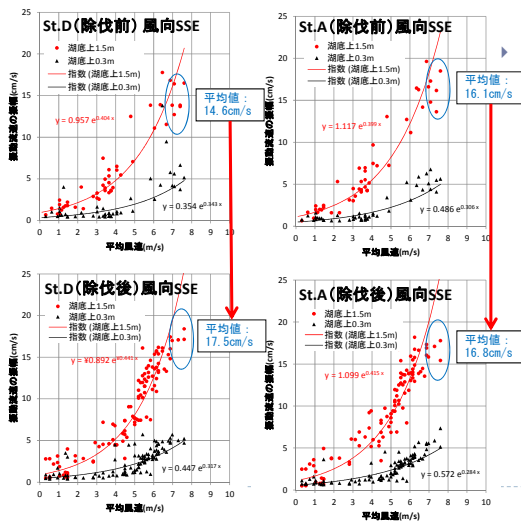


17

IDEA Consultants, Inc.

振動流と湖上風との関係解析（風向：南南西）

- ▶ 強い南南西の風(風速7m以上)の時の振動流速は、除伐前が平均で14.6cm/sであったのに対し、除伐後は17.5cm/sであった。
- ▶ St.Aと比べても相対的に振動流が早くなり、同等がそれ以上の結果となった。



(湖底上1.5m)					
風速7m/s以上時の平均的な振動流速(cm/s)					
	stD	stC	stA	stB	stE
除伐前	14.6	15.3	16.1	15.5	16.0
除伐後	17.5	16.1	16.8	17.2	16.8
StAに対する振動流速の強さ(割合)					
除伐前	0.91	0.96	1.00	0.97	1.00
除伐後	1.05	0.96	1.00	1.03	1.00
StEに対する振動流速の強さ(割合)					
除伐前	0.91	0.96	1.00	0.97	1.00
除伐後	1.04	0.96	1.00	1.02	1.00

(湖底上0.3m)					
風速7m/s以上時の平均的な振動流速(cm/s)					
	stD	stC	stA	stB	stE
除伐前	5.1	4.8	5.3	5.1	3.3
除伐後	5.0	5.0	6.1	5.6	4.0
StAに対する振動流速の強さ(割合)					
除伐前	0.96	0.91	1.00	0.98	0.63
除伐後	0.81	0.82	1.00	0.91	0.66
StEに対する振動流速の強さ(割合)					
除伐前	1.52	1.44	1.58	1.55	1.00
除伐後	1.24	1.25	1.53	1.38	1.00

IDEA Consultants, Inc.

まとめ

- ▶ 本調査で明らかになったこと
 - ▶ St.Dにおいて、除伐によって湖底上1.5mの振動流速が早くなった
 - ▶ これにより、St.Dの湖底上1.5mの振動流速は、球状マリモが存在するSt.AやSt.Bと同等・あるいはそれ以上となった
 - ▶ 湖底上1.5mの振動流速は、球状マリモの生育環境回復のための指標に採用できる可能性がある
- ▶ 球状マリモの維持・回復を図るうえでの課題
 - ▶ St.Aはすでに球状マリモにとって適した生育環境ではない可能性がある。そのため、マリモが回転する振動流速を把握したうえで目標値とすることが望ましい

▶ 19

IDEA Consultants, Inc.

検討課題

試験の結果を踏まえて以下の課題を認識

- ▶ 目標値の設定
 - ▶ St.Aにおける観測値を目標とする場合
 - ▶ 現状、平均風速7m/sの際の振動流速を計測できたのは、水草除伐前後でそれぞれ数回のみであり、サンプル数を増やす必要がある。
 - ▶ より精度の高い目標値を設定する場合
 - ▶ すでにSt.Aの球状マリモの生育状態が悪化していることを踏まえ、マリモが回転する振動流速を直接的に把握することが望ましい。
- ▶ より効果的・効率的な除伐規模・形状の検討
 - ▶ 今年度の除伐(40m×10m)、St.Dの振動流速が既にSt.Aと同等程度かそれ以上となった。そのため、より効率的な除伐規模・形状を検討し、保全計画に反映する。
- ▶ 長期的なモニタリング指標の開発
 - ▶ 振動流速は対策実施後、すぐに効果を把握できる指標であるが、底質等を用いて、履歴を含むより長期的な効果を把握できる指標を検討することが望ましい。

▶ 20

IDEA Consultants, Inc.

今後の保全対策の方向性

調査
(2014年度)

- ▶ マリモ破損域では大型マリモ生息域よりも、マリモの回転に必要な波の振動流が小さい傾向にあった
(ただし、流速に違いが生じている要因は今後の課題)
- ▶ 水草がマリモ生息域の振動流を減衰させている可能性が示唆された

試験
(2015年度)

- ▶ 水草の除伐試験によって振動流速が速くなることが確認された
- ▶ 特に湖底上1.5mでの流速が指標として活用可能であることが示唆された

保全計画検討
(2016年度)

- ▶ 複数規模での試験等により、マリモの保全に有効な対策の規模を検討する。
- ▶ マリモ生育環境改善のための保全計画検討に必要な数値(目標等)を追加的に把握する。
- ▶ 具体的な保全計画(規模、場所、時期、手法、体制、モニタリング手法等)を検討する。

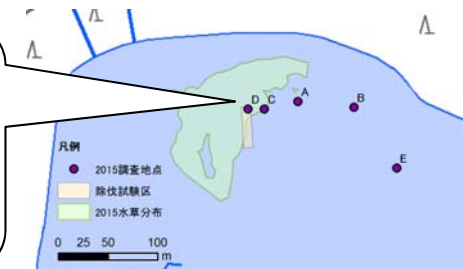
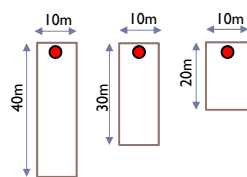
▶ 21

IDEA Consultants, Inc.

今後の調査計画 (案)

- ▶ 目標値の把握
 - ▶ インターバルカメラと3次元流速計を同時に設置し、マリモが回転を始める振動流速を直接観測する
- ▶ 効果的・効率的な除伐規模・形状の検討
 - ▶ 複数ケースで除伐試験を行い、各区画内に3次元微流速計を設置し、適切な規模・形状を把握する
- ▶ 底質の継続調査(St.A、C、D)
- ▶ 湾全体の流動の把握
 - ▶ 湖内における河川水の移動経路を把握するため、水温計を面的に設置する

【試験ケース例】



▶ 22

IDEA Consultants, Inc.

平成28年度調査報告

マリモ生育地における水草の除伐試験

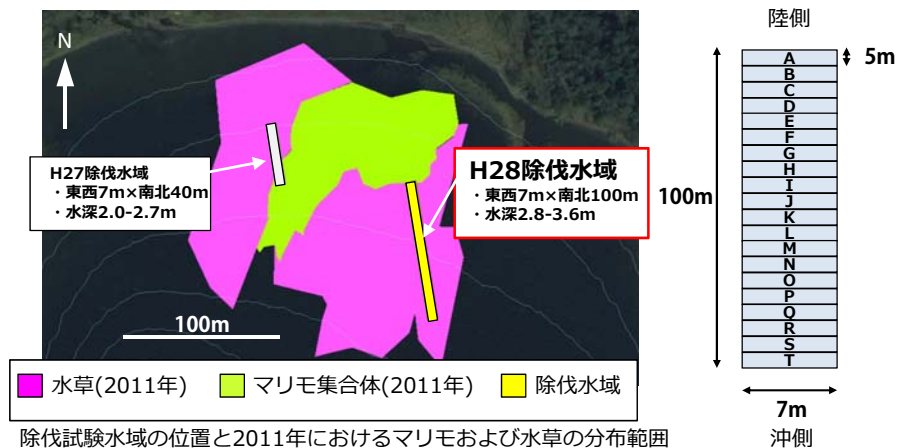
－ 除伐試験水域ならびに試験水域以外の沿岸域における水草の種構成と生物量－

釧路市教育委員会マリモ研究室

背景および目的

- 昨年度の調査結果から、水草の除去がマリモ生育地における流動環境の改善に有効な対策となり得ることが明らかとなった
- しかしながら、水草はマリモ群生地の中にも高密度で生育しており、沖合からチュウレイ湾内に向けて入り込む風波に対する影響を評価する必要性が委員から指摘された
- このため、本年度はマリモ群生地の沖合に除伐試験水域を設定し、除伐前後における流動環境の変化を観測すると共に、沖合に繁茂する水草の生育状況や種構成を把握することを目的とした
- また、試験水域が阿寒国立公園の特別保護地区に含まれることから、水草の除伐が同水域における生物多様性に及ぼす影響を評価するための基礎データを得るべく、他の沿岸域でも水草の生育状況を調査した

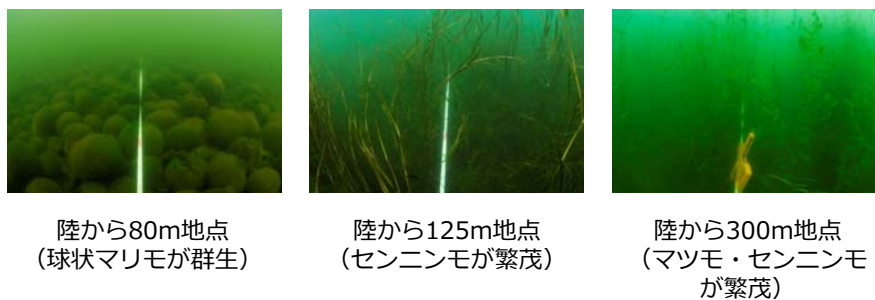
手法 - 水草除伐試験水域 -



- ・マリモ集合体の沖側に位置する水草帯に東西7m、南北100mの除伐試験水域を設定（面積700m²）
- ・更に同試験水域を20区画に分割（区画A～T）

3

手法 - 事前調査 -



- ・水草除伐試験の約3週間前（7月10日）に、試験水域を含む調査基線L260において、陸から500m先までの水草生育状況を調査した

4

手法 - 水草除伐方法 -



ダイバーによる水草除伐の様子
(2016年8月1日 北海道新聞)

- ・ 7月31日から8月2日までの3日間ダイバーのべ8名による素手での全量除伐を実施
- ・ 水草の形状が保持されるよう、湖底の根ごと除伐
- ・ 除伐した水草は、区画ごとにコンテナに収納し、動力船で湖岸に運搬

5

手法 - 除伐した水草の仕分け・計測 -



ボランティアによる仕分け作業



湿重量の計測

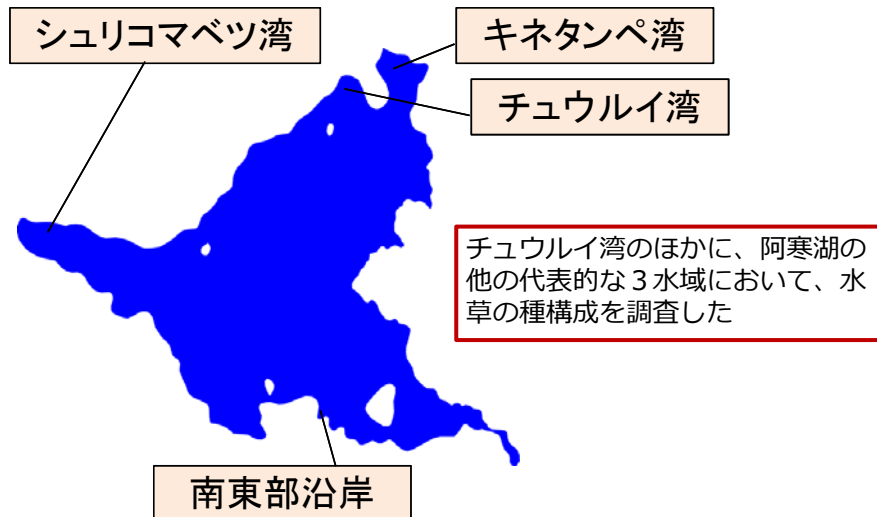


体長の計測

- ・ 水草の除伐と並行して、7月31日から8月3日までの4日間、すべての水草を種ごとに仕分けた後、電子秤で湿重量を計測した（ボランティア参加人数はのべ66名）
- ・ また、出現した水草種のサンプルを1区画おきに数本抽出し、その体長を計測した

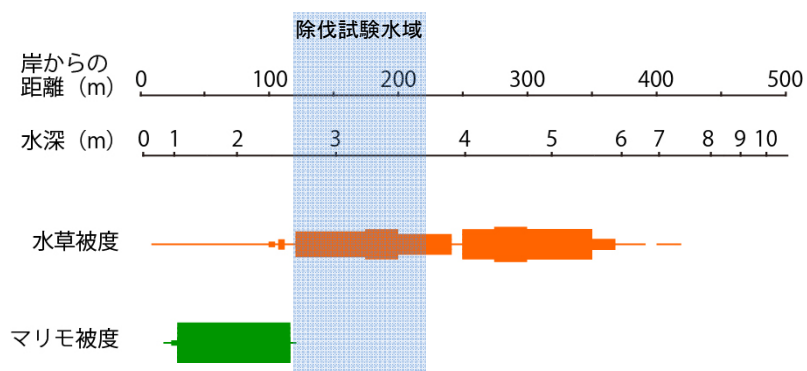
6

手法 – 阿寒湖沿岸における水草種構成の調査 –



7

結果 – 事前調査 –



- ・事前調査の結果、試験水域における水草の被度は50～60%であることが分かり、2011年の調査時と比べて水草の生育密度は少なかった
- ・また、試験水域の終点から沖130m先にかけて、水草が被度60～70%で生育していたことから、刈取りによって水路が形成されることはない判断した

8

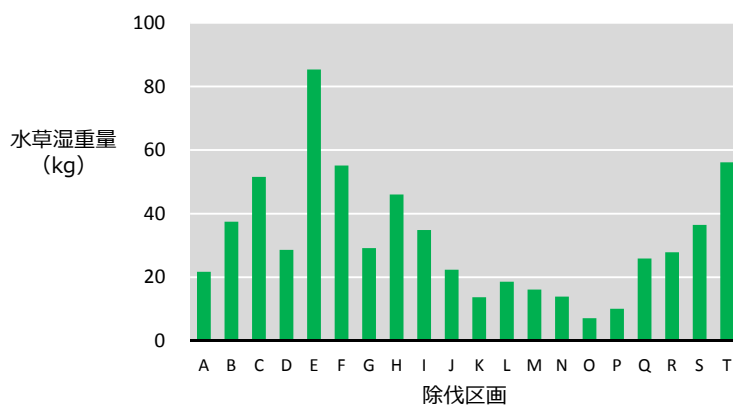
結果 － 除伐試験水域全体における水草の湿重量 －

	H28(今年度)	H27(昨年度)
水草除伐試験水域面積	700 m ²	280 m ²
刈り取った水草の総湿重量	638.1 kg	708.9 kg
総湿重量/試験水域面積	0.91 kg/m ²	2.53 kg/m ²

試験水域の面積は昨年度の2.5倍に設定したが、総刈り取り量は湿重量ベースで**638.1kg**と、昨年度に比べて少なかった

9

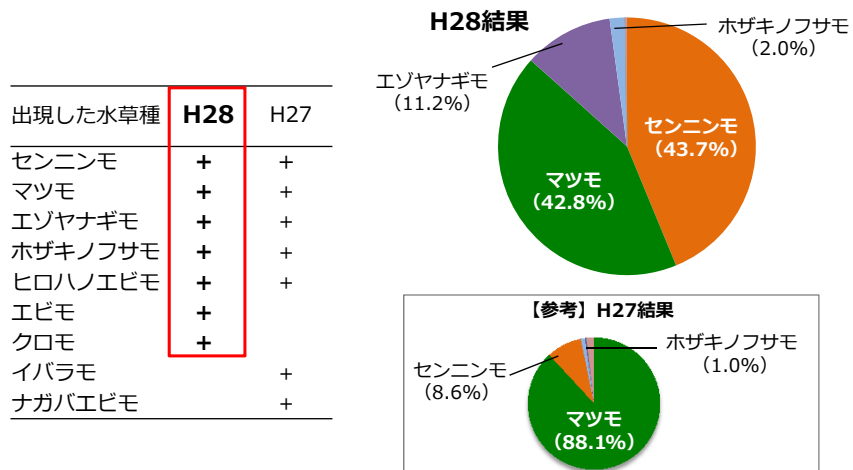
結果 － 各区画における水草刈取り量の変化 －



各除伐区画の水草生物量は水深の増大に伴って
増加⇒減少⇒増加するパターンを示した

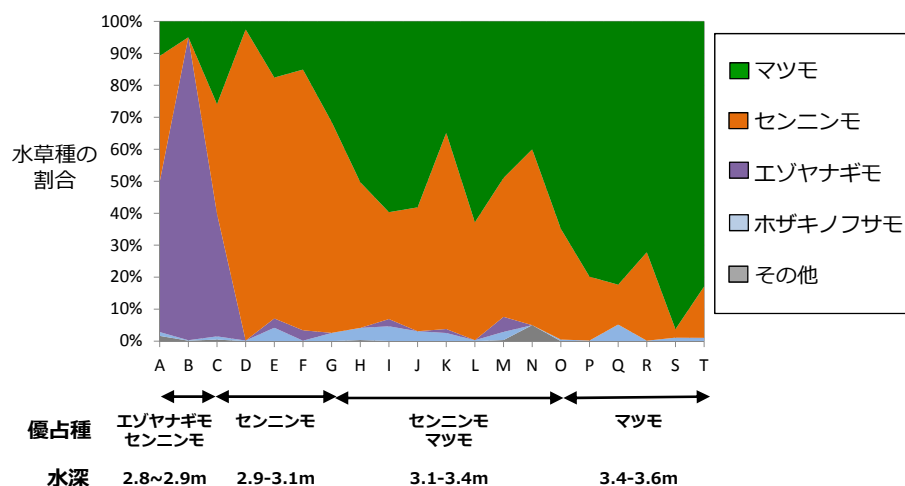
10

結果 - 出現した水草種とその割合 -



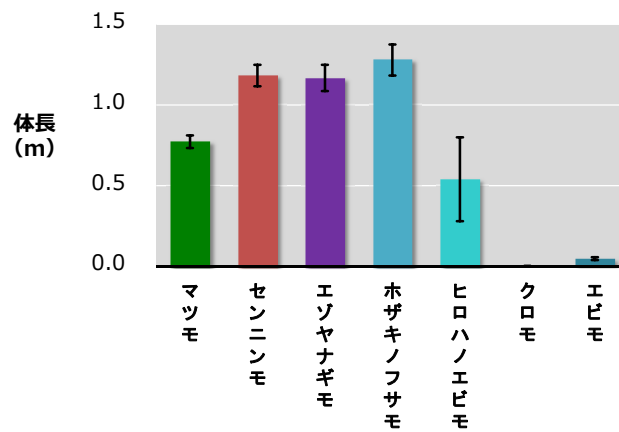
出現した水草の種数は**7種**であったが、主な構成種はセンニンモ、マツモ、エゾヤナギモの**3種**であり（全体の**98%**）、昨年度の除伐水域と比べてセンニンモとエゾヤナギモの割合が多かった

結果 - 各試験区画における水草種の割合の変化 -



水草の優占種は、水深とともにエゾヤナギモ→センニンモ→マツモと変化した

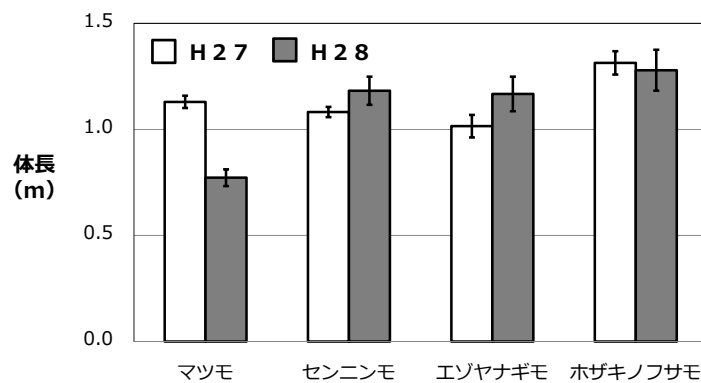
結果 – 除伐試験区域における水草の体長 –



センニンモ・ナガバエビモ・ヒロハノエビモは1.1～1.4m程度であり、マツモは0.8m程度と、上記3種と比べて短かった

13

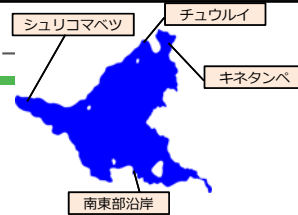
結果 – 除伐試験区域における水草の体長：昨年度との比較 –



マツモの体長は、昨年度の試験水域と比べて短かった

14

結果 - 阿寒湖の他水域における水草構成種 -



沈水植物	チュウルイ	シュリコマベツ	キネタンベ	南東部沿岸	【参考】 H24環境省 調査	環境省RDB分類
マツモ	+	+	+	+	+	
センニンモ	+	+	+	+	+	
エゾヤナギモ	+	+	+		+	
ホザキノフサモ	+	+	+	+	+	
ヒロハノエビモ	+	+	+		+	
エビモ	+	+			+	
クロモ	+	+	+	+	+	
イトモ	+	+			+	
リュウノヒゲモ	+			+	+	準絶滅危惧 (NT)
イトクスモ					+	
フラスコモ属					+	絶滅危惧 I 類 (CR+EN)

※赤字は除伐試験水域内で見つかった種

チュウルイ湾に生育するすべての水草種は、他の沿岸域にも生育していた

15

まとめ

- 本年度試験水域（700m²）での水草総刈り取り量は、湿重量ベースで約**638.1kg**であり、昨年度（280m², 708.9kg）と比べて少なかった
- 試験水域域内に出現した水草のうち、**マツモ、センニンモ、エゾヤナギモ**が全体の98%を占めていたことから、これら3種がマリモ生育地回復のための主な除伐対象種となりうる
- チュウルイ湾で記録された9種の水草は、いずれも湖内の沿岸域にも広く生育していることが確認された

16

平成28年度 球状マリモ生育状況 悪化要因の把握のための 物理環境等の現地観測結果

平成28年度 第2回阿寒湖マリモ科学委員会

平成28年12月17日（土）16時～18時

いであ株式会社

背景と目的

▶ 背景

- ▶ 球状マリモが生育しているチュウレイ湾においては、近年になってマリモ以外の水生植物（マツモ・エゾヤナギモ等）が生育を拡大させておりマリモの球状化に必要な風波による底層の往復流（振動流）を減衰させることなどにより、球状マリモの生育状況を悪化させている可能性が指摘されている。

▶ 目的

- ▶ 球状マリモの生育環境悪化の要因の把握および水生植物の除伐等による往復流（振動流）の回復効果を定量的に把握することを目的として、以下の調査を実施。
 - ▶ 限定的な規模での除伐試験を実施
 - ▶ マリモと水草の分布・生育にかかる各種環境項目に関する調査を実施
- ▶ 球状マリモの生育環境の保全に有効な対策の規模の把握および保全計画を検討する。

昨年度調査の概要



St.D: 水草繁茂域(試験区)

- 水生植物が優占する地点。除伐試験区の北部に位置する。

St.C: 水草繁茂域(対照区)

- 水生植物が優占する地点。以前は球状マリモが優占していたが、水生植物におきかわった

St.A: 大型マリモ生息域

- 球状マリモの生育が良好であり、純群落の地点。
- 以前は小型の球状マリモが優占しており、ここ数年大型化している。

St.B: マリモ破損域

- 球状マリモの生育が悪化している地点。
- 以前は球状マリモが優占していたが、生育状況が悪化（扁平となり砂を被っている）し、その他の水生植物と混成している

▶ 3

観測項目	観測地点
底質(粒度組成、強熱減量)	St.A, C, D
流向・流速(底面直上)	St.A, B, C, D
クロロフィル	St.A, B, C, D
濁度	
光量子	St.A, B, C, D
風向・風速	チュウレイ島南側



水草の除伐により、振動流速が増加する可能性が示唆された

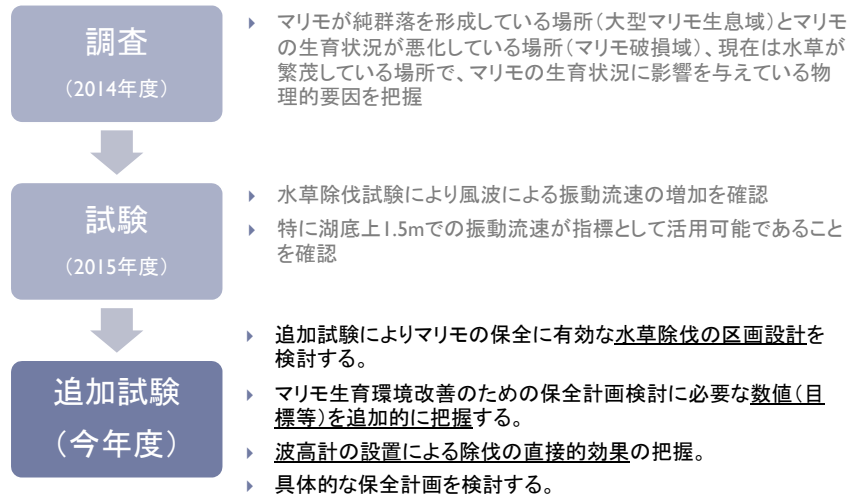
IDEA Consultants, Inc.

昨年度～第1回科学委員会における主な指摘

- ▶ 今年度の調査結果を持って、横方向(東西方向)などの除伐についても検討していくということが良い。群生地の際縁部の刈り取りは流動場だけでなく、マリモの生息域の回復という点でも意味がある可能性があり、今後の検討事項である。(佐藤委員長、安藤自然保護官)
- ▶ 水草の除伐によって水道ができないように配慮しつつ、試験を行う必要がある。(佐藤委員長)
- ▶ 1年で結果が得られないものもあるため、並行して様々な調査を実施するのが望ましい。(佐藤委員長)

▶ 4

調査の位置づけ



▶ 5

IDEA Consultants, Inc.

今年度の実施内容

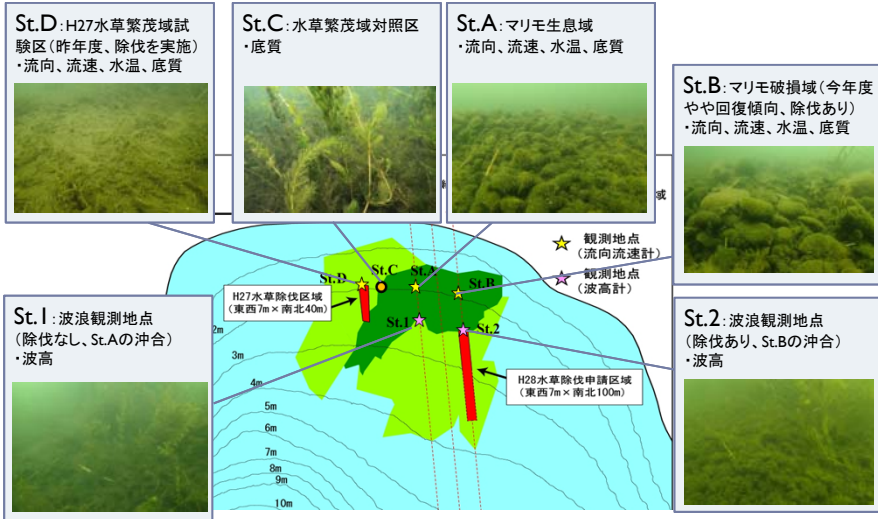
- ▶ 水草(主にマツモ)の除伐試験 (7月31日、8月1日)
- ▶ 除伐試験の効果把握のための調査
(マリモの生育に影響を与えている要因として以下の観測項目について調査を実施)

観測項目	観測地点	概要
底質 (粒度組成、含水比、 強熱減量)	St.A～D	<ul style="list-style-type: none"> 潜水土による柱状採泥を行い、表層泥を分析 昨年度と同じ地点 2016年8月11日に採泥
流向・流速・水温	St.A, B, D	<ul style="list-style-type: none"> 電磁流速計による連続観測(湖内底層の流動状況の把握) 水面下0.5m(湖底上1.5m)で計測 2016年7月21日～8月10日まで合計22日間実施(除伐試験中の2日間含む)
波浪観測	St.1, 2	<ul style="list-style-type: none"> 同じ水深帯の2地点の湖底に設置し、連続観測を実施
風向・風速	チュウレイ島東部	<ul style="list-style-type: none"> 地上7.5mの高さで風向・風速の連続観測 2016年7月21日～8月10日まで合計22日間実施(除伐試験中の2日間含む)

▶ 6

IDEA Consultants, Inc.

調査地点（地点概況）



7

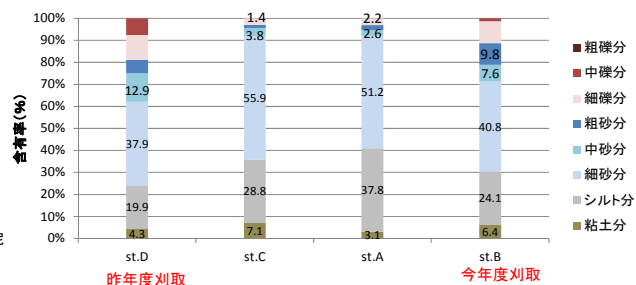
IDEA Consultants, Inc.

底質調査結果（地点間比較）



- ▶ 昨年度刈取したSt.Dが最も粒径が粗く、次いで今年度刈取したSt.Bが粗かった。
- ▶ St.AとSt.Cはほぼ同じだった

※水深はいずれも2.1m
※7/31, 8/1の除伐試験後の8/11に採泥

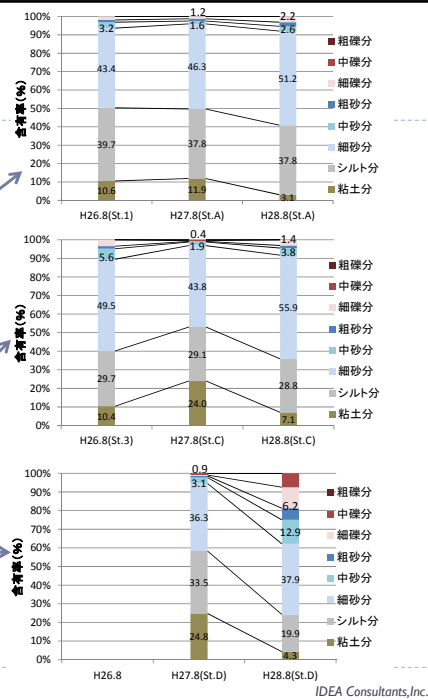


8

IDEA Consultants, Inc.

底質調査結果 (過年度との比較)

- ▶ **St.A**=比較的大型の球状マリモが存在する地点
 - ▶ 粘土分が減少し、砂分が増加
 - ▶ やや粗粒化の傾向あり
-
- ▶ **St.C**=水草が繁茂し、球状のマリモがほとんど存在しない地点
 - ▶ 昨年度に比べ、砂分が増加
 - ▶ H26年度の結果と同じ傾向
-
- ▶ **St.D**=水草が繁茂していたため、**H27年度に除伐試験を実施した地点**
 - ▶ 昨年度に比べ、砂分、礫分が増加
 - ▶ 粗粒化している

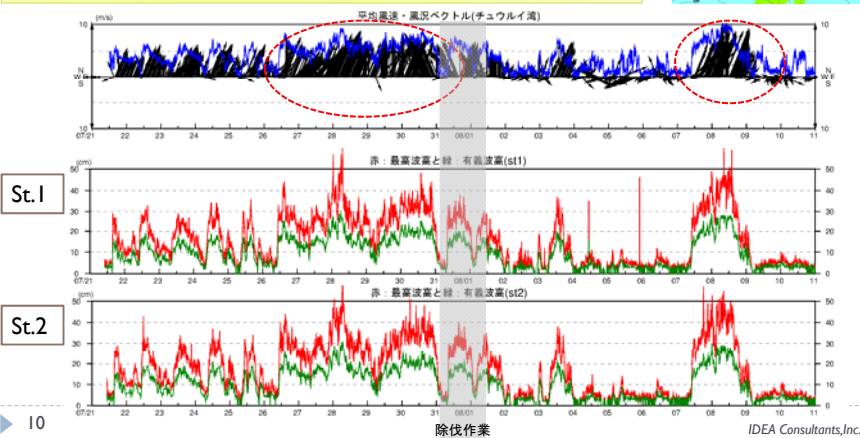
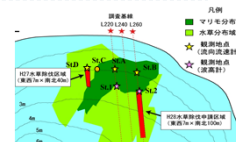


9

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果 (波高)

- ▶ 以下の期間は南系の強風が連続して発生(風向はSSW)
 - ▶ 7月22日～31日
 - ▶ 8月8日～10日
- ▶ St.1、St.2ともに、南風が強い期間に波高が高くなっている。特に7/28と、8/8前後は有義波高が30cm弱となっていた。

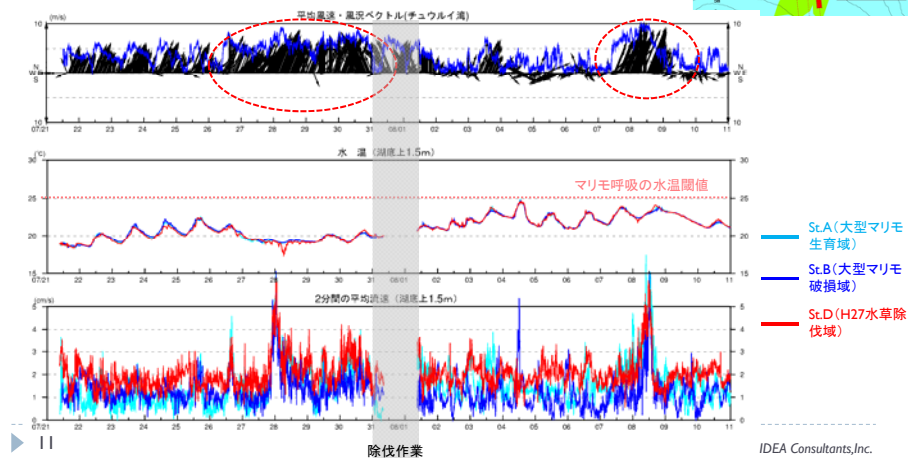


10

IDEA Consultants, Inc.

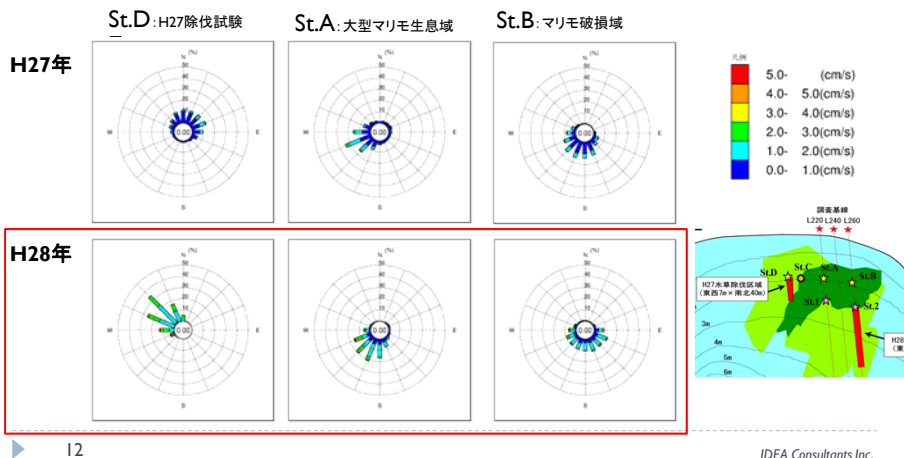
物理環境の連続観測結果（水温、平均流速）

- ▶ St.A、B、Dは、水面下0.5mにおいてほぼ同じ水温であった。
- ▶ 平均流速はSt.A、Bに比べ、St.Dで早い傾向にあった。



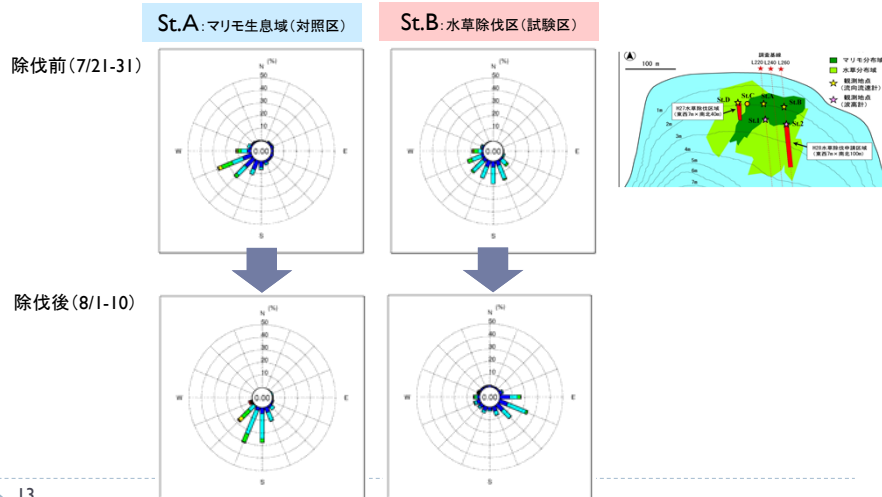
物理環境の連続観測結果（2分間の平均流の出現頻度）

- ▶ St.AとSt.Bは、水面下0.5m(湖底上約1.5m)で南向きの流れが卓越していた。この傾向はH27年度と同様であった。
- ▶ 昨年度、除伐試験を行ったSt.Dでは北西向きの流れが卓越していた。これは、下層の河川流が南東方向に変化し、上層は逆流が卓越したと推察される。



除伐前後の平均流の変化（St.AとBの比較）

- ▶ St.B(試験区)では、St.A(対照区)に比べて除伐後の平均流速が南東方向に大きく変化していた。



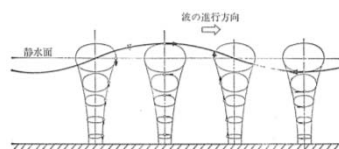
マリモの回転に関する条件と解析の視点

▶ マリモの回転に関する知見

- マリモが回転し始めるのは湖上10mの風速が5m/sを超えるとき
- 湖底面付近は、水粒子の回転方法が逆となるなど、複雑な水の動きが存在する

(中山恵介・若菜勇他(2015): マリモ球状体に回転運動を引き起こす阿寒湖チュウレイ湾の風波特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, pp.945-950)

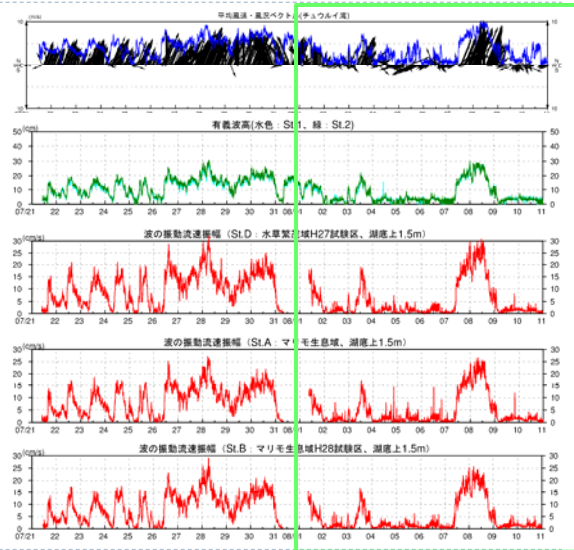
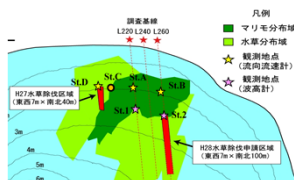
- ▶ **波の振動流速に注目**
- ▶ **風との関係に注目**
- ▶ **水面下0.5mで解析(湖底上約1.5m)**



出典: 新訂版 海岸・港湾 (佐藤・合田, 1981), 33p.
(周期的な運動なので、平均流速は0)

波の振動流速の時間変化 (St.AとBの比較)

- 湖上風の強さに応じて有義波高および波の振動流速が変動している。
- 平均風速5m/sが連吹すると、有義波高が高まり、20cm/s以上の振動流速となる。

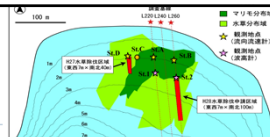


水草除伐前

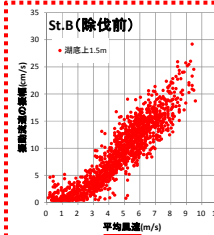
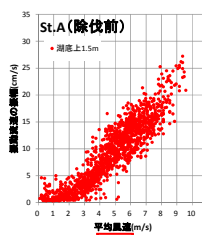
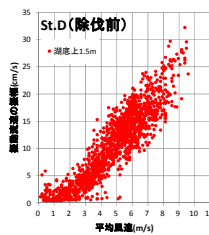
水草除伐後

湖上風と振動流速の関係解析 (全風向)

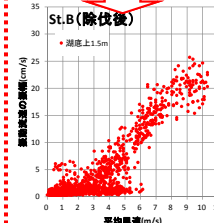
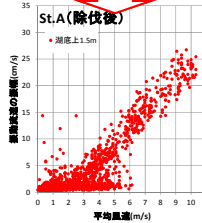
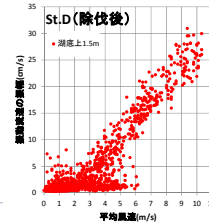
- 風速の増加に伴って波の振動流速も大きくなる。
- 全風向で整理すると、地点間の違いや水草除伐前後の違いが見え難い。(H27年度と同じ傾向)



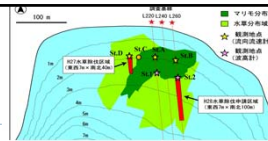
除伐前(7/21-31)



除伐後(8/1-10)

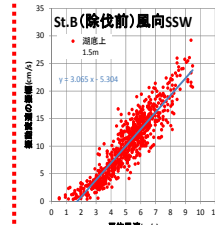
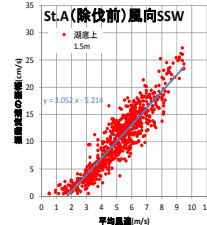
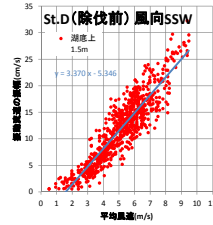


湖上風と振動流速の関係解析 (風向SSWのみ)



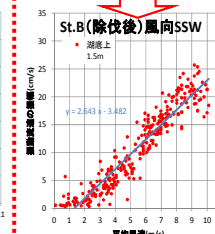
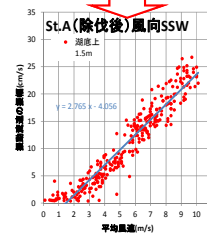
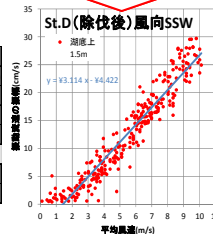
- 水草除伐区域の岸側に位置するSt.Bに着目すると、水草除伐後に振動流速が強くなる傾向はみられなかった。(H27年度とは異なる結果)

除伐前 (7/21-31)



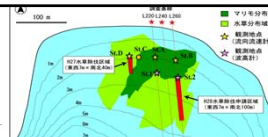
除伐後 (8/1-10)

(湖底上1.5m)			
風速7m/s以上時の平均的な振動流速(cm/s)			
	stD	stA	stB
除伐前	20.6	18.3	18.4
除伐後	22.4	19.7	19.2
StAに対する振動流速の強さ(割合)			
除伐前	1.13	1.00	1.01
除伐後	1.14	1.00	0.98



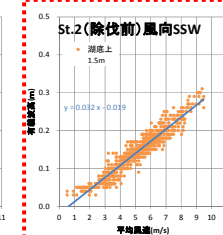
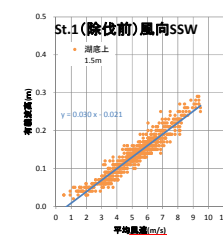
17

波高と湖上風の関係解析 (風向SSWのみ)

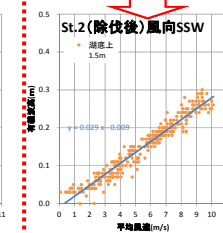
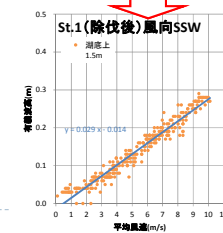


- 波高と湖上風に明瞭な相関関係が見られた。
- チュウレイ湾においては、平成風速5m/sで有義波高0.15m、平均風速7m/sで有義波高0.2m、風速9m/sで波高0.25mである。→ 中山ら(2015)と同様の結果

除伐前 (7/21-31)



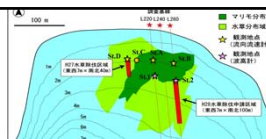
除伐後 (8/1-10)



18

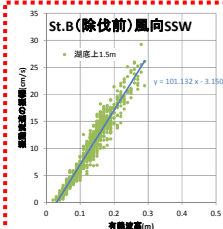
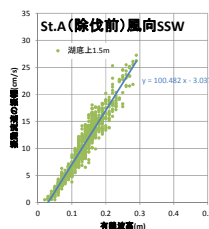
IDEA Consultants, Inc.

波高と振動流速の関係解析 (風向SSWのみ)

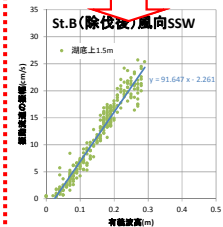
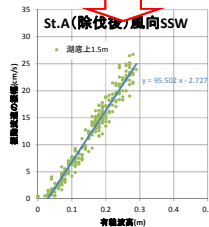


- ▶ 波高と振動流速に相関関係が見られた。
- ▶ チュウルイ湾においては波高0.2mで流速15cm/s、波高0.3mで流速25cm/sという知見が得られた。

除伐前 (7/21-31)



除伐後 (8/1-10)



▶ 19

IDEA Consultants, Inc.

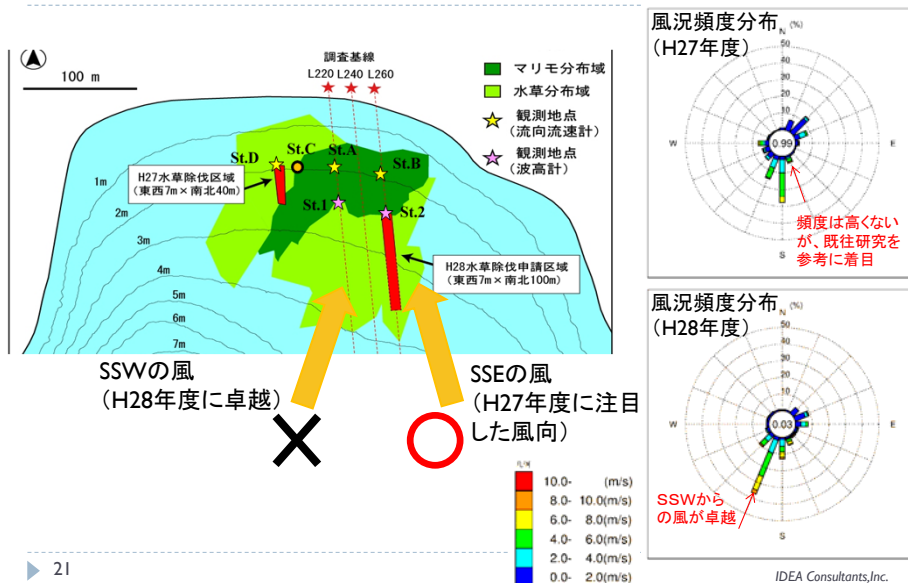
まとめ

- ▶ 本調査のまとめ
 - ▶ 湖上風速と波の振動流速を解析した結果、水面下0.5m (湖底上1.5m) の振動流速は水草除伐前後で大きな変化がみられなかった。
 - ▶ 平均風速と波高の関係やマリモの回転駆動力と考えられる波の振動流速と波高の関係性を見出すことができた。
 - ▶ 昨年度のような水草除伐効果が得られなかった要因として以下が考えられる。
 - ▶ 例年に比べて水草が成長しておらず、湖面まで繁茂していなかった。
 - ▶ 過年度の成果を踏まえて、除伐はSt.2より沖側をSSE方向に除伐したが、観測期間中の卓越風がSSWであり、波の進行方向と除伐区域にずれが生じた。
 - ▶ マリモ生息域の沖側を岸沖方向に細長く伐採し、南側を閉じた除伐区としたことで、卓越風向(波向)の影響を受けやすかった可能性がある。

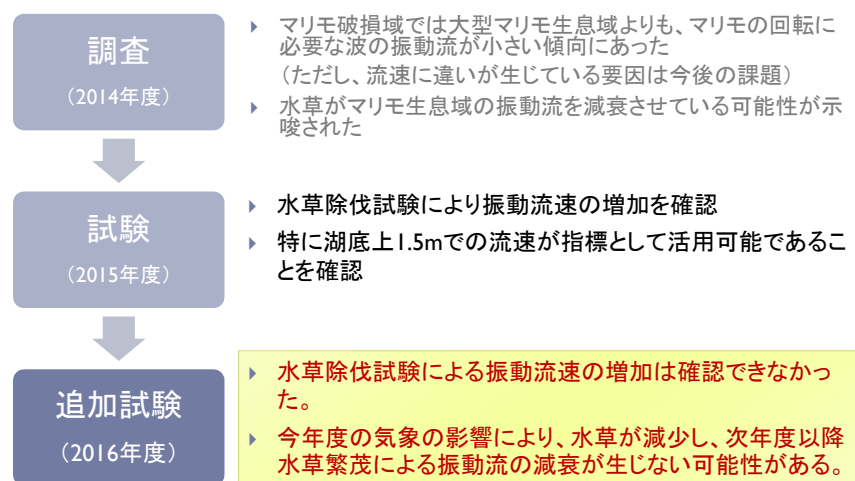
▶ 20

IDEA Consultants, Inc.

(参考) 卓越風向と水草除伐区域の関係



得られた成果等



水草除伐に関して得られた知見（まとめ）

- ▶ 水草除伐によってマリモの回転駆動力となる波の振動流速が回復する可能性
- ▶ 水草除伐の影響把握手法と指標
 - ▶ 試験区と対照区（コントロールポイント）の2地点以上において、水深2m地点の湖面下0.5m（湖底上約1.5m）に「電磁流速計」を設置し、0.1秒間隔で1分間程度の連続計測を実施
 - ▶ 「波の振動流速」を算出し、平均風速との相関性を解析する（平成27年度の知見からは、平均風速7m/s時の振動流速が指標となり得ることが示唆された）
- ▶ 水草除伐の際の注意点
 - ▶ 水草が十分に成長した時期に水草が除伐された状態であることが必要
 - ▶ 東西方向の除伐幅を可能な限り広くし、開放性を高めることにより、風向が変化することによるリスクを低減できる

▶ 23

IDEA Consultants, Inc.

（参考）昨年度の成果

- ▶ 水草除伐によってマリモの回転駆動力となる波の振動流速が回復する可能性がある
- ▶ 「湖底上1.5m（水面下約0.5m）の振動流速」が水草除伐効果を検証する即時性の高い指標となる可能性がある
- ▶ 波の振動流速は（調査で採用した）電磁流速計による0.1秒間隔の連続観測で計測可能
- ▶ 水草除伐効果の当面の目標：平均風速7m/s時の「湖底上1.5mの振動流速が18cm/s以上」を確保

▶ 24

IDEA Consultants, Inc.

平成29年度調査報告

平成28年8月の大型台風によって攪乱を受けた
阿寒湖チュウレイ湾のマリモと水草の生育分布状況

釧路市教育委員会マリモ研究室

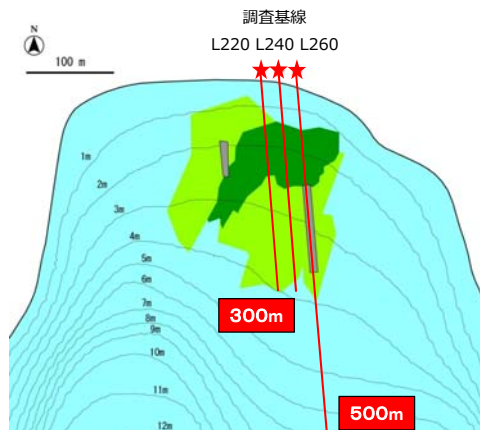
背景および目的

- 平成28年8月に大型の台風7号、9号、11号が連続して北海道に上陸した結果、マリモ群生地がある阿寒湖チュウレイ湾は、強風によって大量の水草が湖岸に打ち上がるなど、大規模な攪乱を受けた。
- 台風通過後に現況調査を実施したところ、マリモ群生地の浅瀬に繁茂していた水草の8~9割（総湿重量約121トン）の水草が流失したと推定された。
- 水草が大量に消失したことで、平成27年度の水草除伐試験から得られた結果と同様に、湖水流動の改善が期待された一方、マリモの生育状況にも変化が見られるものと推察された。
- このため、本年度は下記の調査を実施し、水草の大量流失がマリモの生育環境に与える影響を評価した。

<H29年度調査内容>

- ①マリモと水草の生育状況把握および分布地図作成のための潜水調査（事務局報告）
- ②湖水流動（流向流速・風向風速）の観測および底質分析（いであ報告）

調査方法



■調査時期

8月2～4日および21～25日

■調査内容

①ラインセンサス調査（3基線）

調査基線に沿ってマリモの直径や層厚、水草の被度や構成種を潜水調査

②ドローンによる空撮調査

チュウルイ湾全域を空撮し、得られた画像を補正・結合して水草の分布範囲を確認（北大 山田先生との共同調査）

③マリモと水草の分布地図作成調査

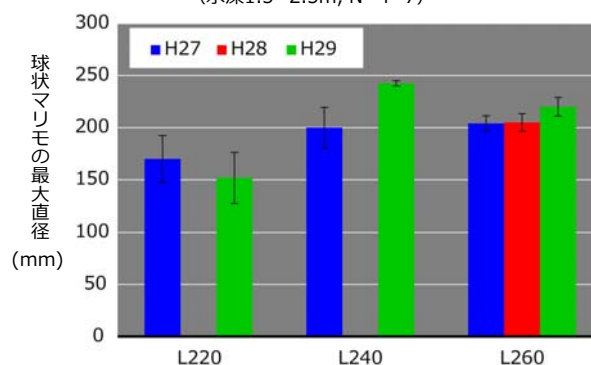
潜水調査によりマリモと水草の縁辺部をGPSに記録した後、地理情報システムを使用して分布地図を作成

3

結果 –①ラインセンサス調査–

L220, L240, L260における球状マリモの最大直径の変化

(水深1.5～2.5m, N=4～7)



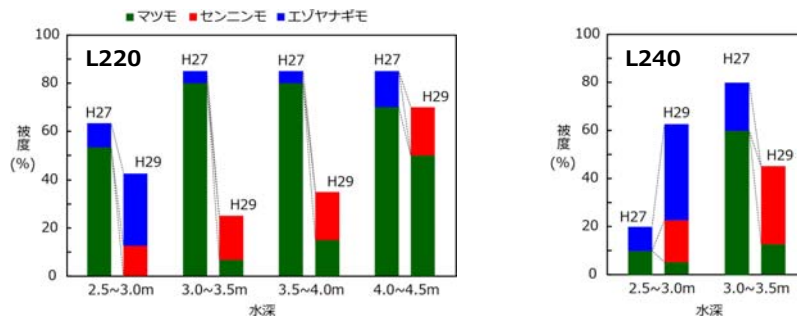
- L220ではマリモの最大直径が約1割減少（170mm⇒152mm）
- L240はマリモの最大直径の増加率が約2割と最も高い（200mm⇒243mm）
- L260では、平成27～28年のマリモの最大直径は同程度だが（それぞれ204、205mm）、平成28～29年の間に約1割増加（220mm）
- マリモの最大直径がL220で減少し、L240、L260で増加していることから、台風によって水草の大量に流失したことで、マリモの生育環境が水草繁茂前（L260周辺のマリモの生育状況が最も良好だった時期）に近づいた？

4

結果 -①ラインセンサス調査-

L220, L240における水草被度の変化

(L220: 水深2.5~4.5m, L240: 水深2.5~3.5m)



<L220>

- 水草全体の被度は減少 (68~90%⇒43~70%)
- マツモは水深2.5~4.0mで大きく減少 (被度50~80%⇒0~15%)
- センニンモは全水深で増加 (被度0%⇒13~20%)
- エゾヤナギモは水深2.5~3.0mで増加 (被度10%⇒30%)

<L240>

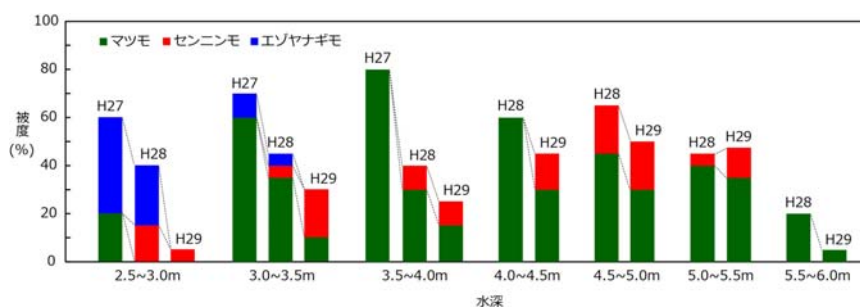
- 水草全体の被度は水深2.5~3.0mで増加し (被度20%⇒63%)、水深3.0~3.5mでは減少 (被度85%⇒45%)
- 水草種ごとの被度変化についてはL220と同様

5

結果 -①ラインセンサス調査-

L260における水草被度の変化

(水深2.5~6.0m)



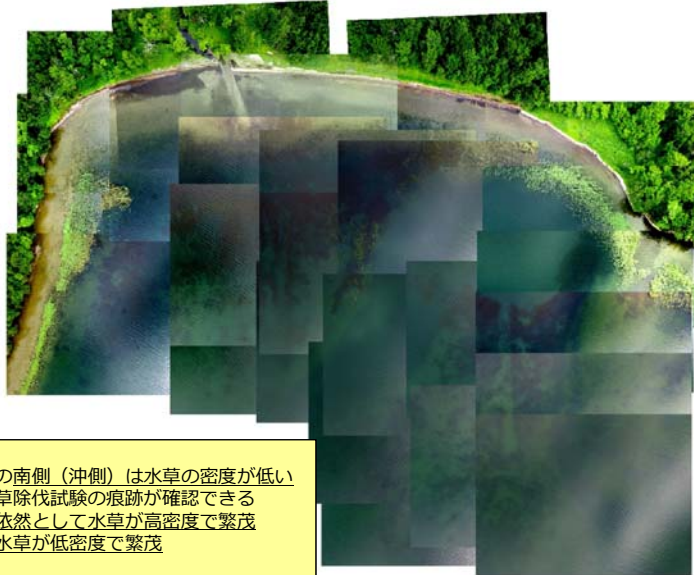
- 水草全体の被度はここ3年間で段階的に減少
- 特に、水深4.0mまでのマツモが大きく減少
- 一方、センニンモはH28から増加し、台風通過後の平成29年においても増加
- 以上の結果から、先の大型台風によってマツモのような水中根の短い水草が選択的に流失したと考えられる
- また、4m以深は強風時においても水草が流失しにくい環境にあることが示唆された

6

結果 -②ドローンによる空撮調査-

空撮結果

(画像の暗い部分が水草)

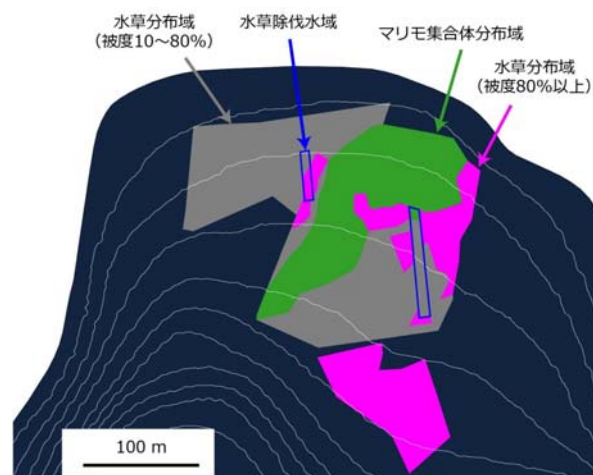


- マリモ集合体の分布域の南側（沖側）は水草の密度が低い
- H28年度に実施した水草除伐試験の痕跡が確認できる
- マリモ群生地~~の~~東側は依然として水草が高密度で繁茂
- マリモ群生地~~の~~西側は水草が低密度で繁茂

7

結果 -③マリモと水草の分布地図作成調査-

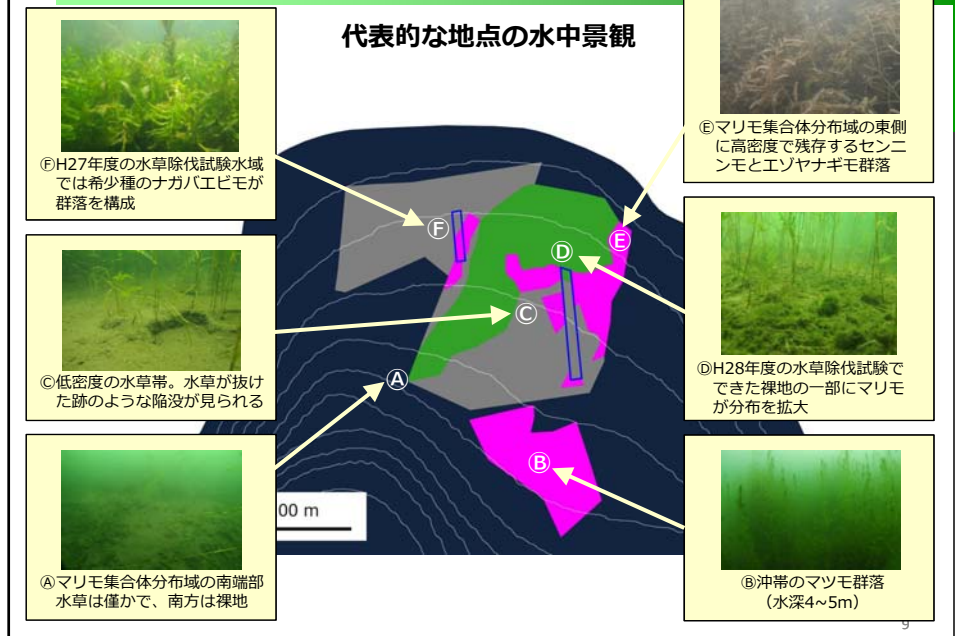
マリモと水草の分布地図



- ライセンス調査や空撮で得られた結果と同様に、マリモ集合体分布域の南側（水深2.5~4.0m）に繁茂していた水草が大きく減少
- マリモ集合体分布域の南端や水深4.0~5.0mの水域、分布域西側の水深1.0~3.0mの水域には高密度で水草が繁茂

8

結果 -③マリモと水草の分布地図作成調査-

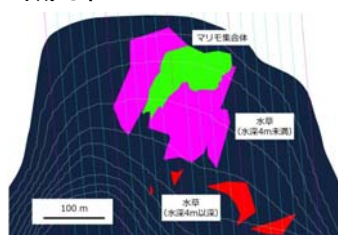


結果 -③マリモと水草の分布地図作成調査-

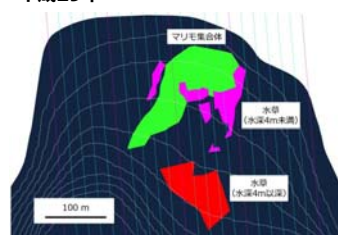
平成23年に調査したマリモ及び水草の分布面積との比較

(水草は被度80%の分布域が対象)

平成23年



平成29年



- マリモ集合体の分布面積は約4割拡大
- 水深4.0m未満の浅瀬に繁茂していた水草の分布面積は、平成23年と比較して約8割縮小
- 一方、水深4.0m以上の水域では、水草の分布面積が約2倍に増加
- マリモが新たに分布を拡大した水域の大半は、従前まで水草が高密度で繁茂していた水域であったことから、大型台風がもたらした風波によって水草が流失し、マリモが入り込むスペースができたと考えられる

まとめ

- 平成28年に北海道に上陸した大型台風の風波によって、水深4.0m以浅に分布していた水草の約8割が流失し、その大半は水中根の短いマツモであることが示唆された
- また、センニンモのような水中根の長い水草や、4.0m以深に生育する水草は、台風の風波による流失の影響が軽微であったと推察された
- 一方、台風通過前後における球状マリモの最大直径はL220で約1割減少したものの、L240で約2割、L260で約1割増加していた。水草が繁茂する以前は、L260周辺のマリモの生育状況が最も良好だったことから、台風によって水草の大量に流失したことで、マリモの生育環境が水草繁茂前の環境に近づいた可能性が示唆された
- また、マリモの分布面積は平成23年と比較して約4割拡大したことに加え、平成28年の水草除伐試験によってできたスペースの一部にマリモが分布を広げたことを確認した
- 更に、平成27年の水草除伐試験水域では、当時は痕跡的にしか確認できなかった希少種のナガバエビモが群落を構成している様子を確認した
- 以上の結果から、湾内の水草の生育量を適切に管理することによって、マリモの生育状況や分布範囲が改善されるだけでなく、水草の種生物学的な多様性の回復にも寄与する可能性が強く示唆された

平成29年度 球状マリモ生育状況 悪化要因の把握のための 物理環境等の現地観測結果

平成29年度 第2回 阿寒湖マリモ科学委員会

平成29年12月26日（火）15時～17時

いであ株式会社

調査の位置づけ（過年度からの経緯）

調査

（2014年度）

- ▶ マリモが純群落を形成している場所、マリモの生育状況が悪化している場所、現在は水草が繁茂している場所において、マリモの生育状況に影響を与えている物理要因を把握

試験

（2015～2016年度）

- ▶ 水草除伐試験を実施し、風波による振動流速が増加する可能性を確認（但し、水草繁茂状況、卓越風向と除伐区域の方向によって効果の程度は異なる）
- ▶ 水草除伐効果は「湖底上1.5mの振動流速」を指標として把握

2016年8月 台風7号による大規模擾乱

追加試験

（今年度）

水草や有機物、細泥が一掃された（H28 第2回委員会で提示）

- ▶ マリモ生活史における「遷移のリセット」発生後の（マリモにとって理想的な？）湖内物理環境を把握
- ▶ 今後、水草が回復（繁茂）し、マリモ生息状況が再び悪化するまでの過程を把握していくための出発地点

今年度の調査内容

- ▶ 観測期間: 2017年5月26日～6月23日(28日間連続)
- ▶ 観測項目、地点、手法

(マリモの生育に影響を与えている要因として以下の観測項目について調査を実施)

観測項目	観測地点	手法(過年度と同じ)
底質 (粒度組成、含水比、 強熱減量)	St.A～D	<ul style="list-style-type: none"> 潜水土による柱状採泥を行い、表層泥を分析 過年度と同じ地点 2017年6月23日に採泥
流向・流速・水温	St.A, B, D (水深 約2m)	<ul style="list-style-type: none"> 電磁流速計を水面下0.5m(湖底上1.5m)に設置 サンプリング間隔: 0.1秒で2分計測(1200サンプル) バースト間隔: 10分(6/6～は20分に変更)
風向・風速	チュウレイ 島東部	<ul style="list-style-type: none"> 地上7.5mの高さに風向・風速計を設置 バースト間隔: 10分

7
31
速報
提示

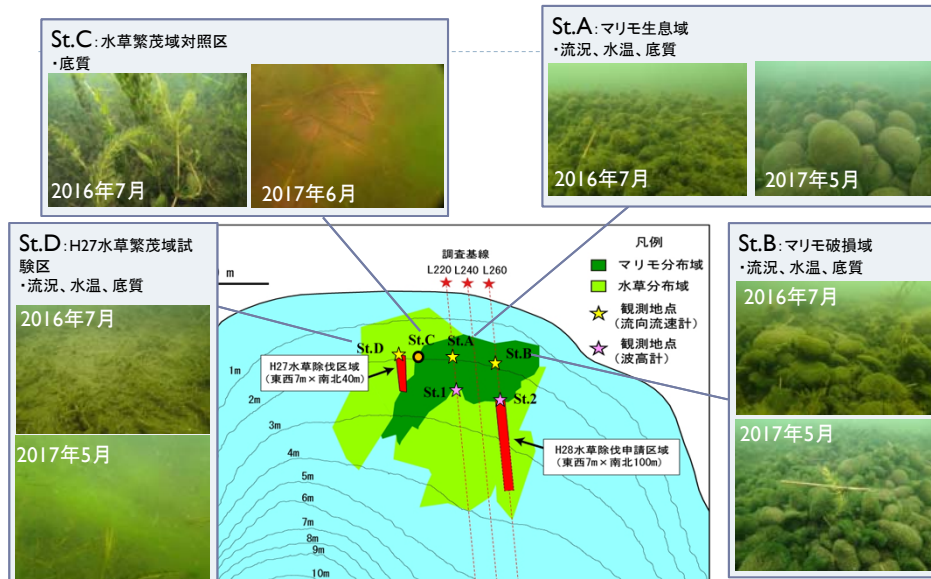
※)2016年に観測した波高は未実施(振動流速との明瞭な相関関係が認められたため)

解析の基本方針: 水草が繁茂していた2016年7月までのデータと今年のデータを比較し、「遷移リセット」の影響を把握。着目指標「底質と波の振動流速」

▶ 3

IDEA Consultants, Inc.

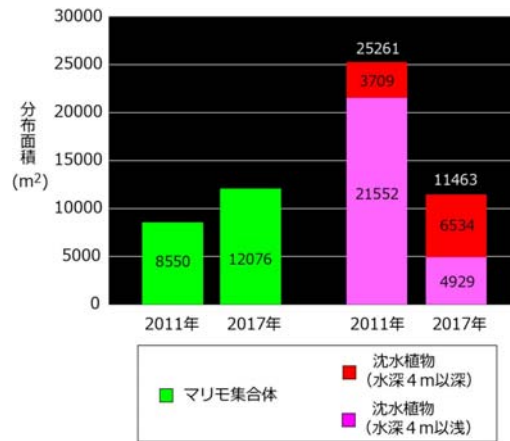
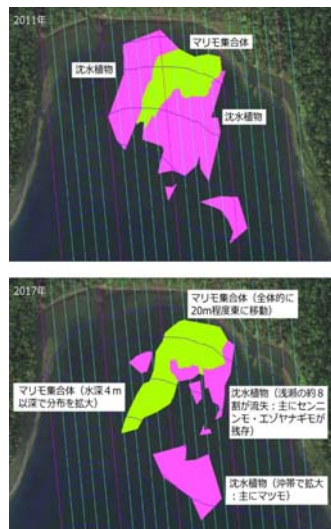
調査地点 (地点概況)



▶ 4

IDEA Consultants, Inc.

マリモと沈水植物の生息状況の変化



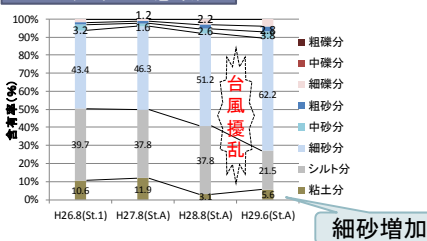
※沈水植物は被度80%以上のみを表示
 ※マリモ集合体は水草繁茂域の際を目視確認して推定

5

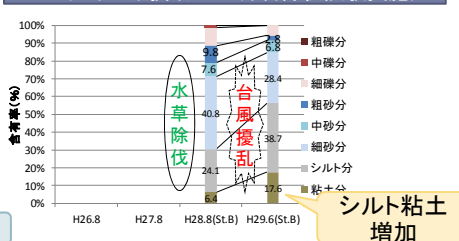
IDEA Consultants, Inc.

底質調査結果 (粒度組成の変化)

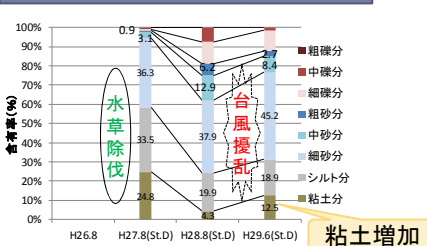
St.A (マリモ生息域)



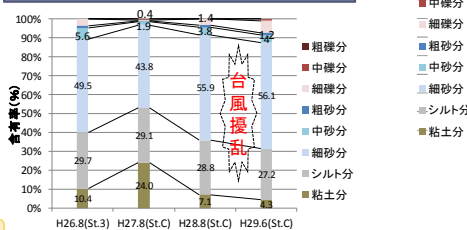
St.B (マリモ破損域: H28沖合除伐試験実施)



St.D (水草繁茂域: H27除伐試験実施)



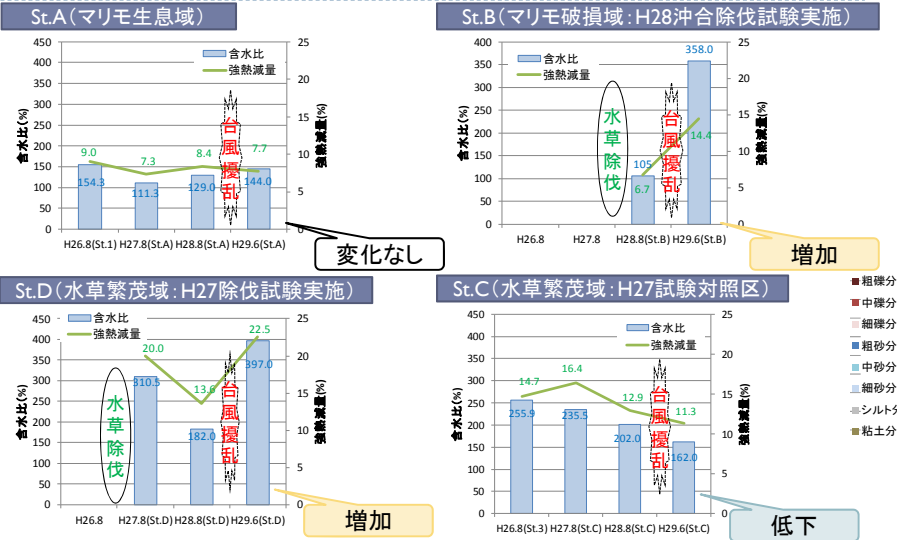
St.C (水草繁茂域: H27試験対照区)



6

IDEA Consultants, Inc.

底質調査結果（含水比と強熱減量の変化）

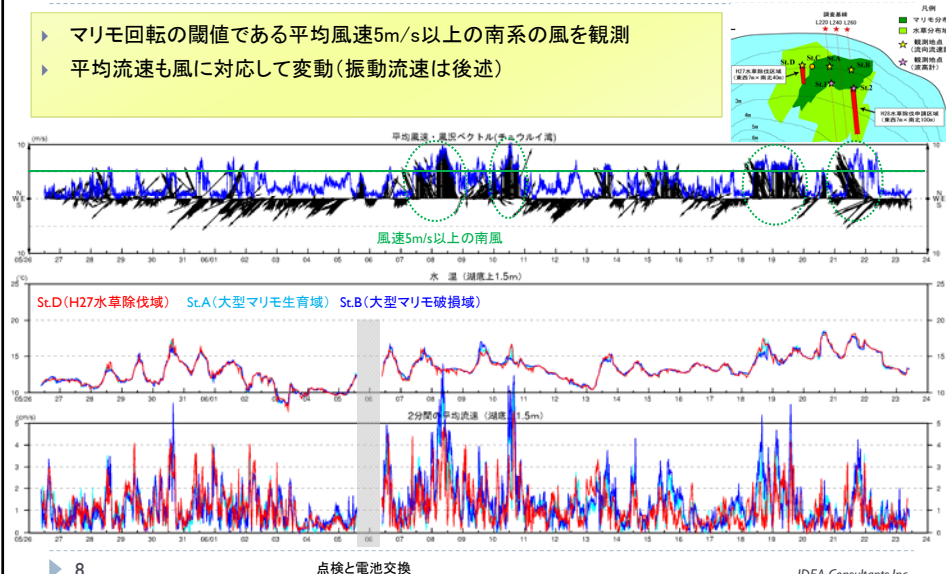


7

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果（風況、水温、平均流速）

- マリモ回転の閾値である平均風速5m/s以上の南系の風を観測
- 平均流速も風に対応して変動（振動流速は後述）



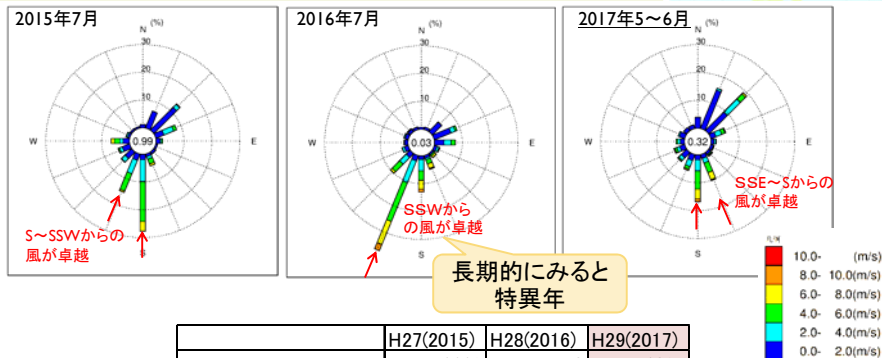
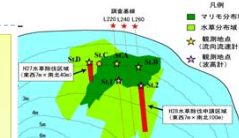
8

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果（風況頻度）

（H29年観測結果）

- ▶ 今年（2017年5～6月）はSSE（南南東）～S（南）方向の強風が卓越
- ▶ 平均風速5m/s以上の南系の強風出現頻度は40～50%



	H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)
南系のデータ個数	1112	550	1087
風速5m/s以上の個数	464	279	563
出現率(%)	42	51	52

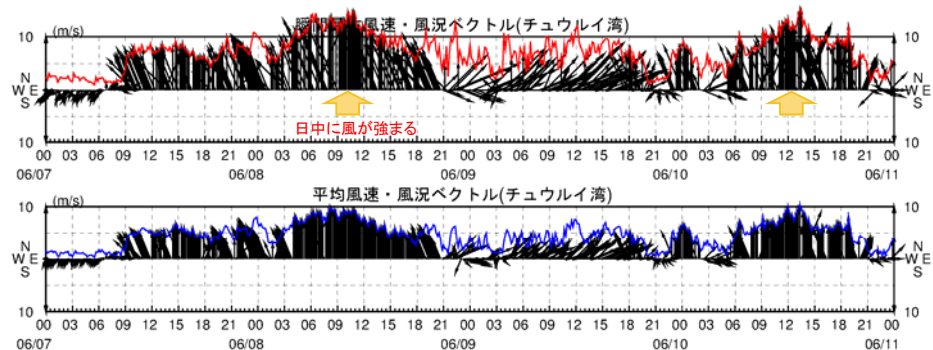
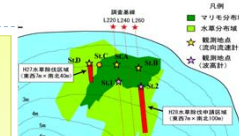
▶ 9

IDEA Consultants, Inc.

物理環境の連続観測結果（風況特性）

（H29年観測結果）

- ▶ 南風は夜間に弱く、日中に強まる傾向がある。
- ▶ 日中は海（南側）から陸（北側）に向かって強い風が吹く、海陸風の特徴を有している。



▶ 10

IDEA Consultants, Inc.

マリモの回転に関する条件と解析の視点

▶ マリモの回転に関する知見

- マリモが回転し始めるのは湖上10mの風速が5m/sを超えると
- 湖底面付近は、水粒子の回転方法が逆となるなど、複雑な水の動きが存在する

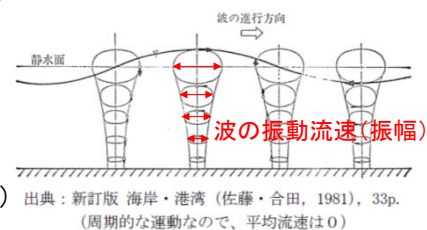
(中山恵介・若菜勇他(2015):マリモ球状体には回転運動を引き起こす阿寒湖チュウレイ湾の風波特性,土木学会論文集B3(海洋開発),Vol.71,No.2,pp.945-950)

▶ 波の振動流速に注目

▶ 風との関係に注目

(特に風速5m/s以上)

▶ 水面下0.5mで解析(湖底上約1.5m)



▶ 11

IDEA Consultants, Inc.

マリモの回転に影響する 波の振動流速の算出方法（過年度を踏襲）

▶ 以下の方法で0.1秒間隔で計測された流向・流速データから1分間の平均的な波の振動流速(片振幅)を算出

東西成分流速 U と南北成分流速 V を平均流成分 (\bar{U}, \bar{V}) と変動成分 (U', V') に分解する。

$$U = \bar{U} + U'$$

$$V = \bar{V} + V'$$

次に、変動成分の流速を使って、以下の共分散法によって主波向 θ を算定する。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\overline{U'V'}}{\overline{U'^2} - \overline{V'^2}}$$

さらに、波向きの分だけ変動成分流速ベクトルを回転させ、主波向方向の流速変動 u を求める。

最終的には、波の不規則性も考慮し、流速変動 u の標準偏差の2倍を軌道流速振幅 \hat{u} として評価した。

▶ 振動流速と湖上風速の相関解析を実施

▶ 12

IDEA Consultants, Inc.

波の振動流速の時間変化 (H29年観測結果)

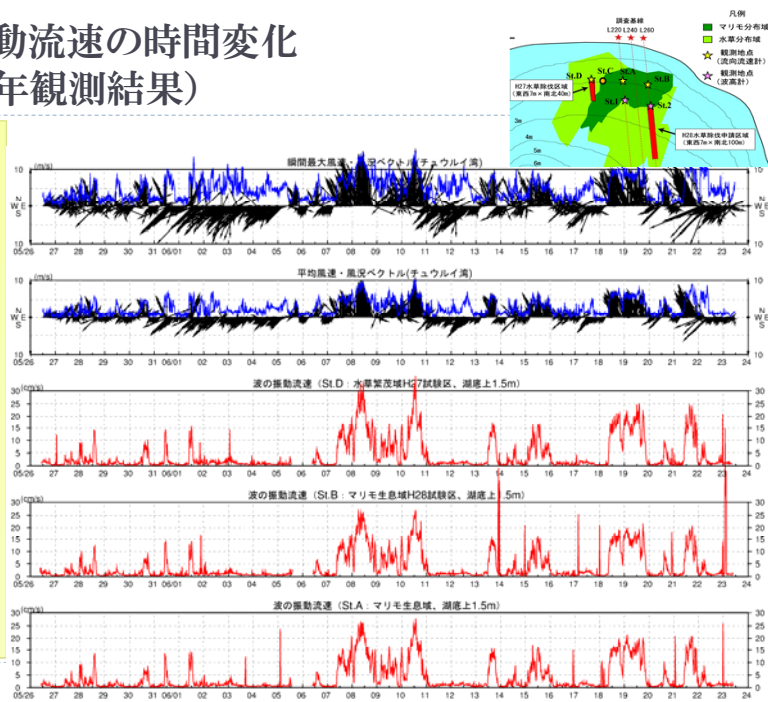
過年度と同様の傾向

- ▶ 湖上風の強さに応じて波の振動流速が変動
- ▶ 平均風速5m/sが連吹すると20cm/s以上の振動流速が発生

(解析ポイント)

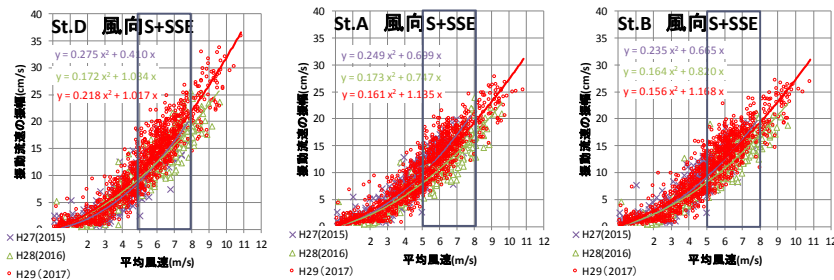
風速と振動流速の関係性は、水草がなくなったことでどう変化したか？マリモは回転し易くなったか？

▶ 13



湖上風と振動流速の関係解析 (大規模擾乱前後の比較：風向SとSSE)

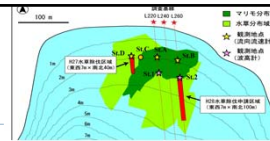
- ▶ (3年間とも観測された)風速5~8m/sに着目し、振動流速の平均値を算出すると2017年が最も高い。上昇率は2015年の20~40%である。



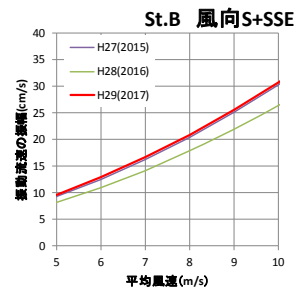
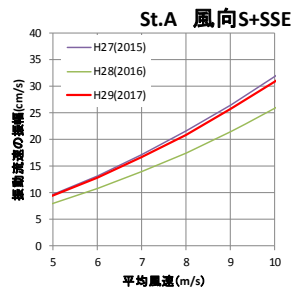
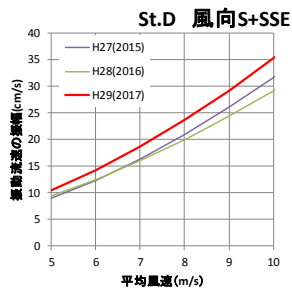
	データ数	風速5m/s以上、 St.D	8m/s以下の振動流速 St.A	振動流速平均値cm/s St.B
H27(2015)	180	10.9(+0%)	11.6(+0%)	11.0(+0%)
H28(2016)	200	12.6(+16%)	11.0(-5%)	11.2(+2%)
H29(2017)	488	15.4(+36%)	13.9(+21%)	14.0(+27%)

▶ 14

湖上風と振動流速の関係解析 (大規模擾乱前後の比較：流速推定式)

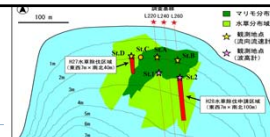


- ▶ 風速8m/s以下と振動流速の相関関係から地点別・風向別の流速算定式(2次多項式で近似)を作成した。
- ▶ その結果、(St.Dを除き)流速推定式の明瞭な経年変化は認められなかった。
- ▶ これは、年によって流速算定式を近似する際のデータ数やばらつきが異なるためと考えられた。



▶ 15

湖上風と振動流速の関係解析 (大規模擾乱前後の比較：強流出現率)

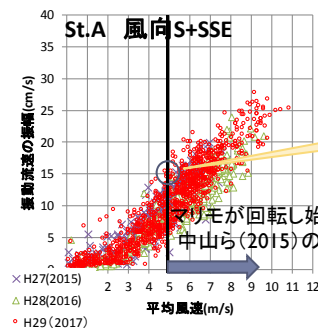


(仮説)水草抵抗がない環境では風波が減衰し難くなり、同じ風が吹いても、強い振動流速が出現し易くなるのではないかと？

- ▶ 以下の指標で強流出現率を算出してみたらどうなるか？

強流出現率＝

(風波の振動流速●cm/s以上の出現個数)／(風速5m/s以上の南風出現個数)

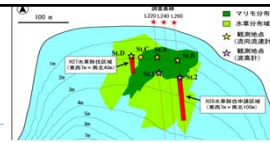


風速5m/sの際の
振動流速の上限値は約15cm/s

マリモが回転し始めるのは風速5m/s
中山ら(2015)の画像解析結果より

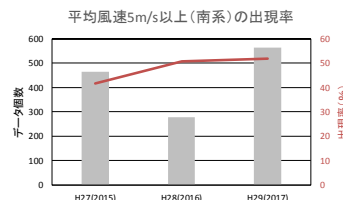
▶ 16

湖上風と振動流速の関係解析 (大規模擾乱前後の比較：強流出現率)

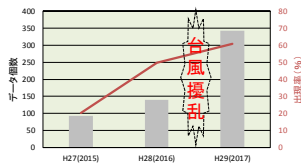


- ▶ 観測期間中における風速5m/s以上の南風(S~SSE)出現時間に対する、風波の振動流速15cm/s※以上の出現率を算出 ※閾値の設定根拠は前頁参照
- ▶ その結果、強い振動流速の出現率が経年的に増加していることが分かった。
- ▶ 特に大型マリモ生息域のSt.Aにおいては、
台風擾乱前後で強流出現率が大きく増加。

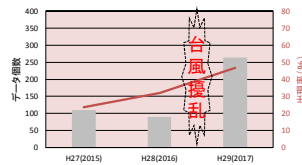
→ 擾乱による「遷移のリセット」によって、
マリモが回転し易い良環境に変化していることを示唆



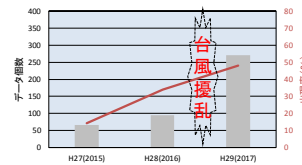
強風時の流速15cm/s以上(南系)の出現率
St.D: 水草繁茂域(伐採試験実施域)



強風時の流速15cm/s以上(南系)の出現率
St.A: マリモ生息域



強風時の流速15cm/s以上(南系)の出現率
St.B: マリモ破損域



▶ 17

(まとめ) 2014~2017年の調査成果

調査
(2014年度)

- ▶ マリモ破損域では大型マリモ生息域よりも、マリモの回転に必要な波の振動流が小さい傾向にあった (ただし、流速に違いが生じている要因は今後の課題)
- ▶ 水草がマリモ生息域の振動流を減衰させている可能性が示唆された

試験
(2015~2016年度)

- ▶ 湖底上1.5mの振動流速が水草除伐効果の指標として活用可能であることを確認
- ▶ 水草除伐試験により振動流速が増加する場合があることを確認(但し、水草繁茂状況や卓越風向と除伐方向の関係によって効果の程度は異なる)

追加調査
(2017年度)

2016年8月 台風7号による大規模擾乱

- ▶ 繁茂していた水草が一掃された結果、強風時の平均的な振動流速や強流出現率が増加していることを確認
- ▶ マリモ生活史における「遷移リセット」によってマリモが回転し易く、マリモ成長に理想的な湖内物理環境となった (可能性が高い)

▶ 18

IDEA Consultants, Inc.