

水草バイオマスの持続可能な収穫と利活用による 湖沼生態系保全技術の確立



研究組織:

サブテーマ1 石川可奈子、井上栄壮、佐藤祐一(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

サブテーマ2 今井章雄、高津文人、小松一弘(国立環境研究所)

サブテーマ3 戸田龍樹、黒沢則夫(創価大学)

サブテーマ4 伴修平、須戸幹、後藤直成(滋賀県立大学)



環境研究総合推進費研究 研究成果報告会

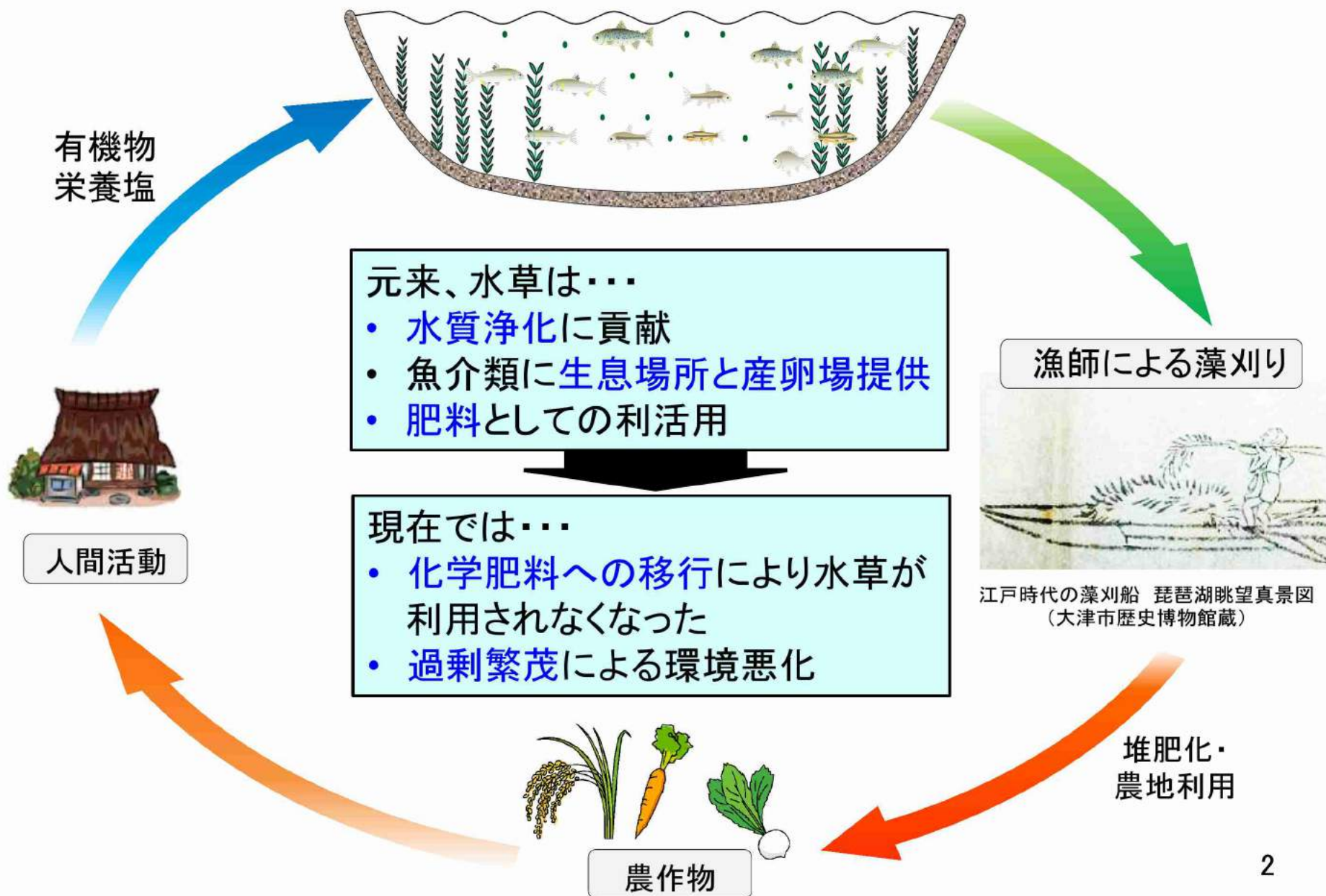
2017年3月10日



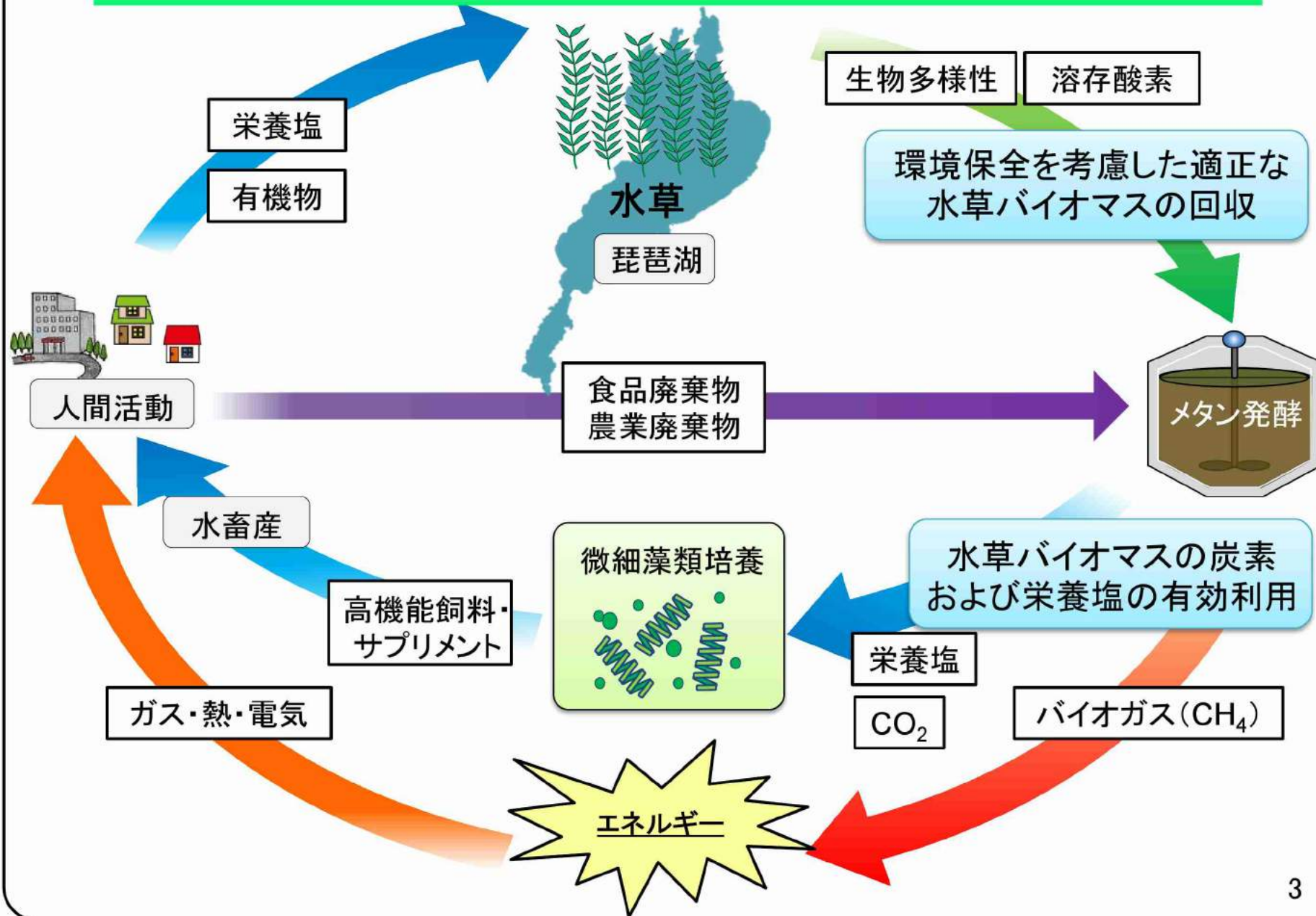
LBERI



水草を起点とした里湖循環型社会と近年の水草問題

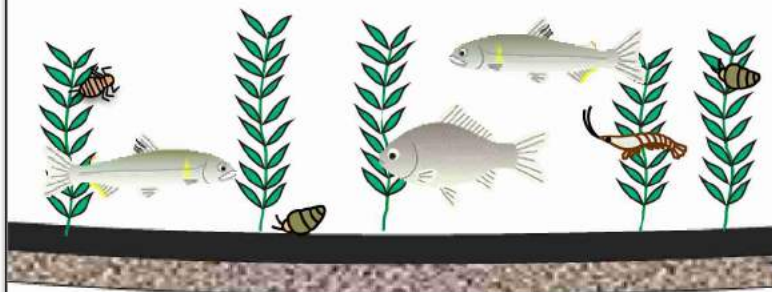


現代版『里湖循環型・自然共生社会』



各サブテーマと本研究プロジェクトの最終目標

1. 水域生態系を健全に保つための水草管理基準の策定



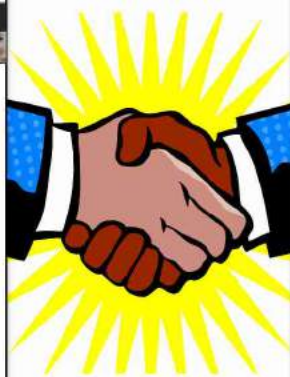
サブテーマ1 (琵琶湖研)

水域生態系を健全に保つための持続可能な水草刈り取り量の推定

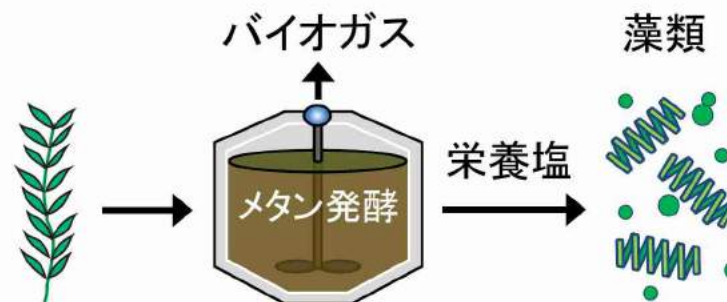


サブテーマ2 (国環研)

水草の刈り取りが湖沼の水質及び底質に与える影響の評価



2. 除去した水草バイオマスを有効利用する基盤技術の確立



サブテーマ3 (創価大)

水草バイオマスの効率的な処理技術の確立



サブテーマ4 (滋賀県大)

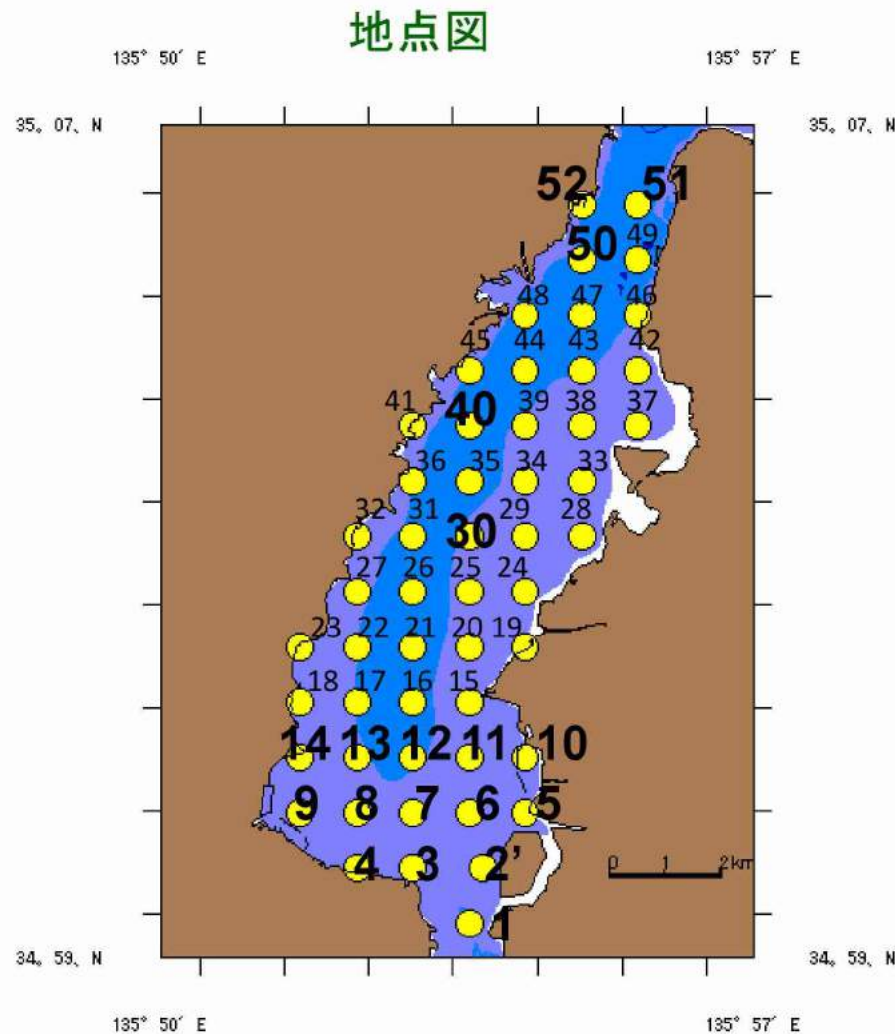
微細藻類大量培養技術の確立

各サブテーマの検討項目と目標

研究テーマ	検討項目1	検討項目2	各研究テーマの目標
サブテーマ1	水草成長速度の推定	刈り取り方法の違いによる生物群集への影響評価	水草の適正な刈り取り方法と刈り取り量の管理基準の策定
サブテーマ2	水質・底質の成分分析	刈り取り方法の違いによる水質/底質評価	
サブテーマ3	水草の嫌気分解の最適化	バイオガスからのCO ₂ 回収・H ₂ S除去	高効率エネルギー回収(>60%)の達成
サブテーマ4	消化液を用いた藻類生産の最適化	藻類によるバイオガス中のCO ₂ 除去効率の検討	生産量6g/L、栄養塩除去率90%の達成

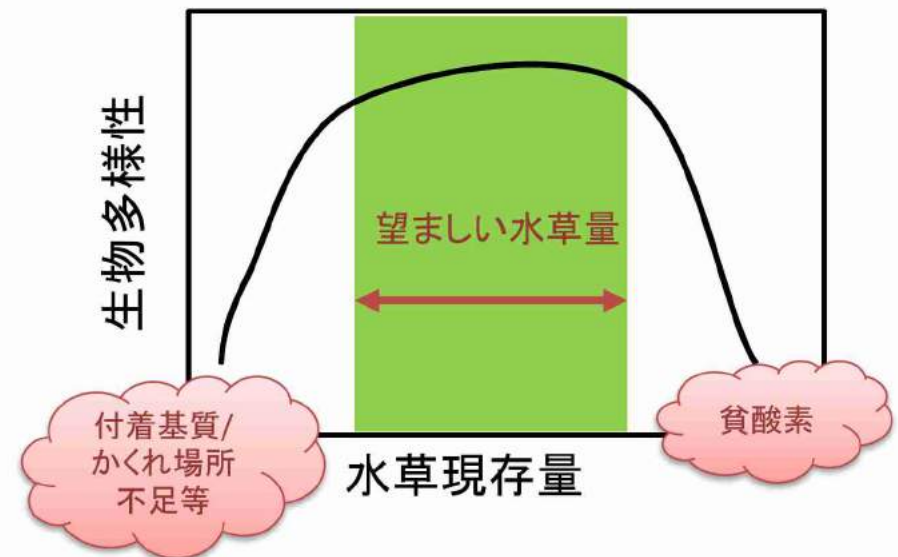
サブテーマ1: 持続可能な水草刈り取り量の推定

【実施内容】水草現存量と生物多様性・溶存酸素の関係を調べる



- ・魚探で水草高の測定 → 持続可能な刈り取り量の推定
- ・葉上生物分析 → 生物多様性の評価
- ・底生動物分析

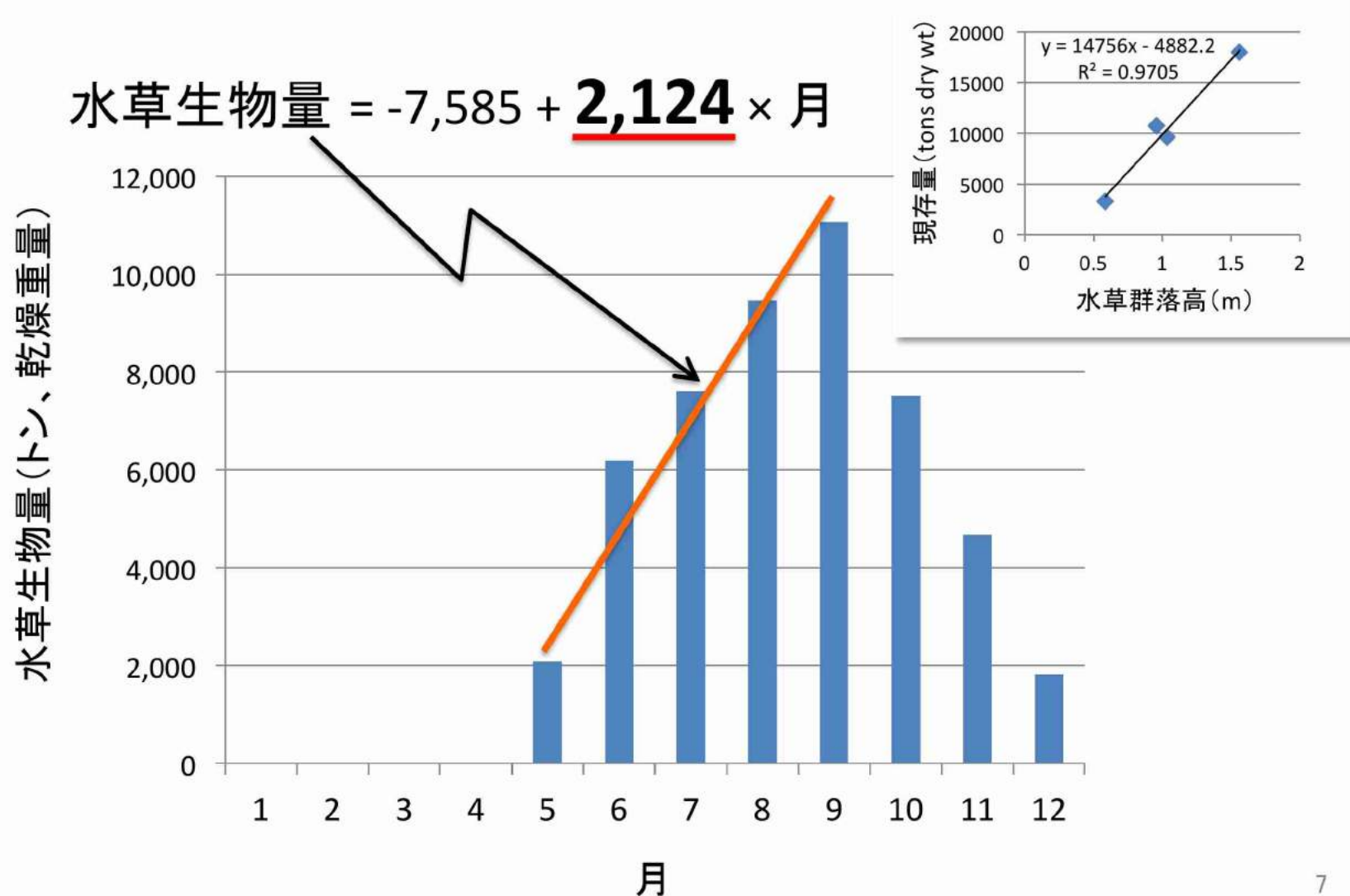
～想定される結果のイメージ～



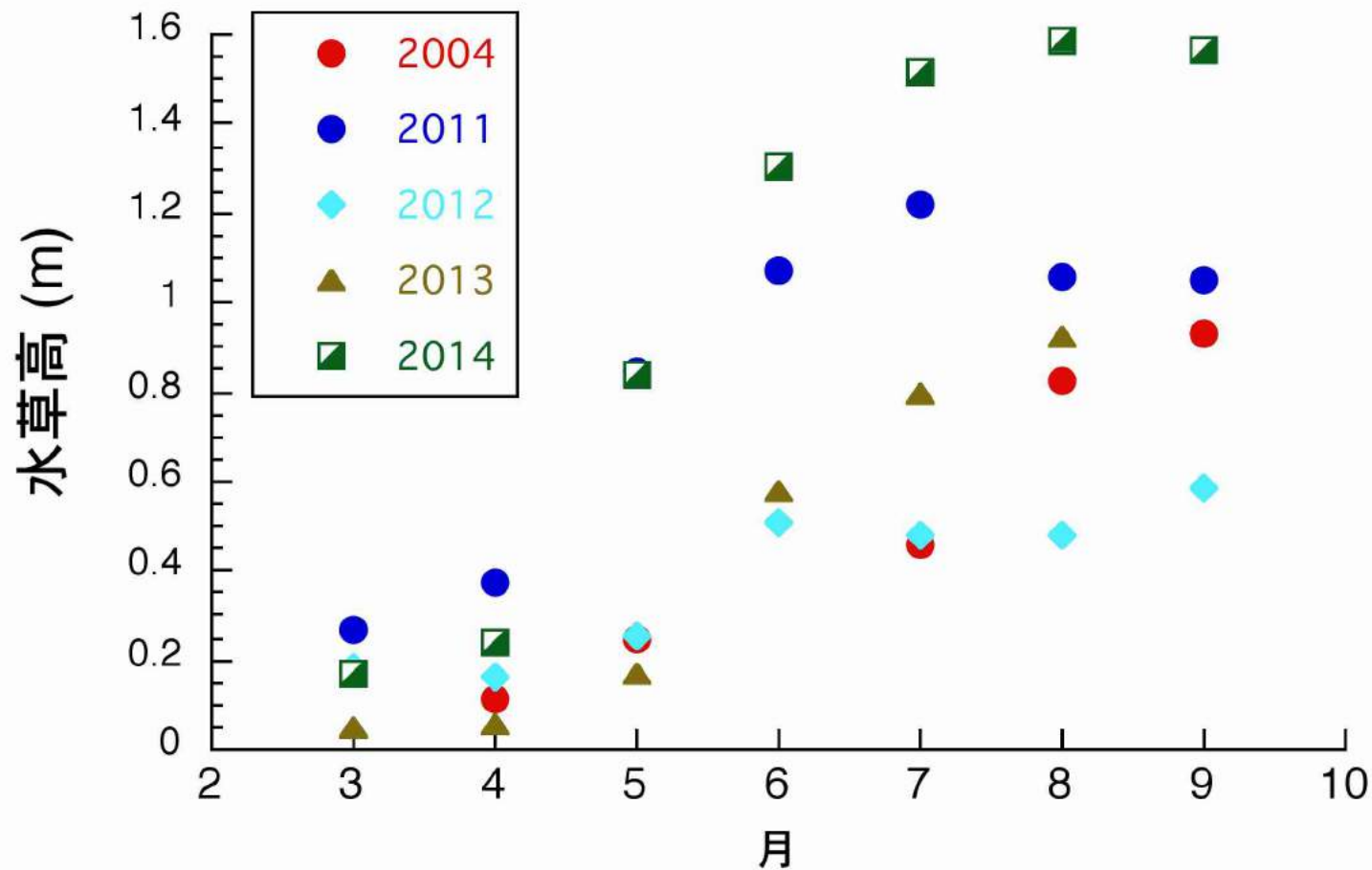
望ましい水草量の範囲に維持→餌生物の増加→水産資源の回復

琵琶湖南湖での水草生産量

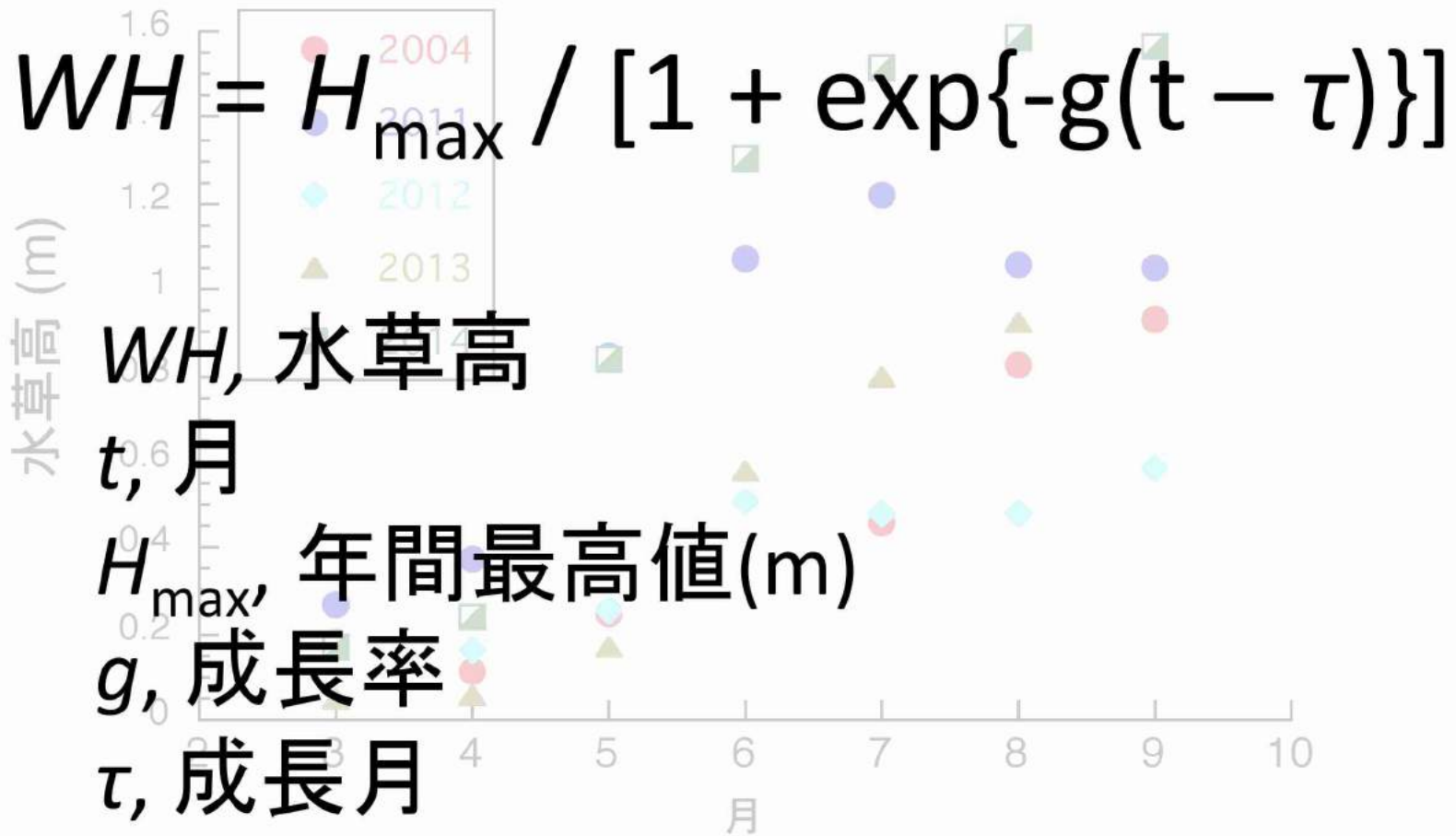
2002～2012年の月別平均生物量から推定した琵琶湖南湖での水草生産速度



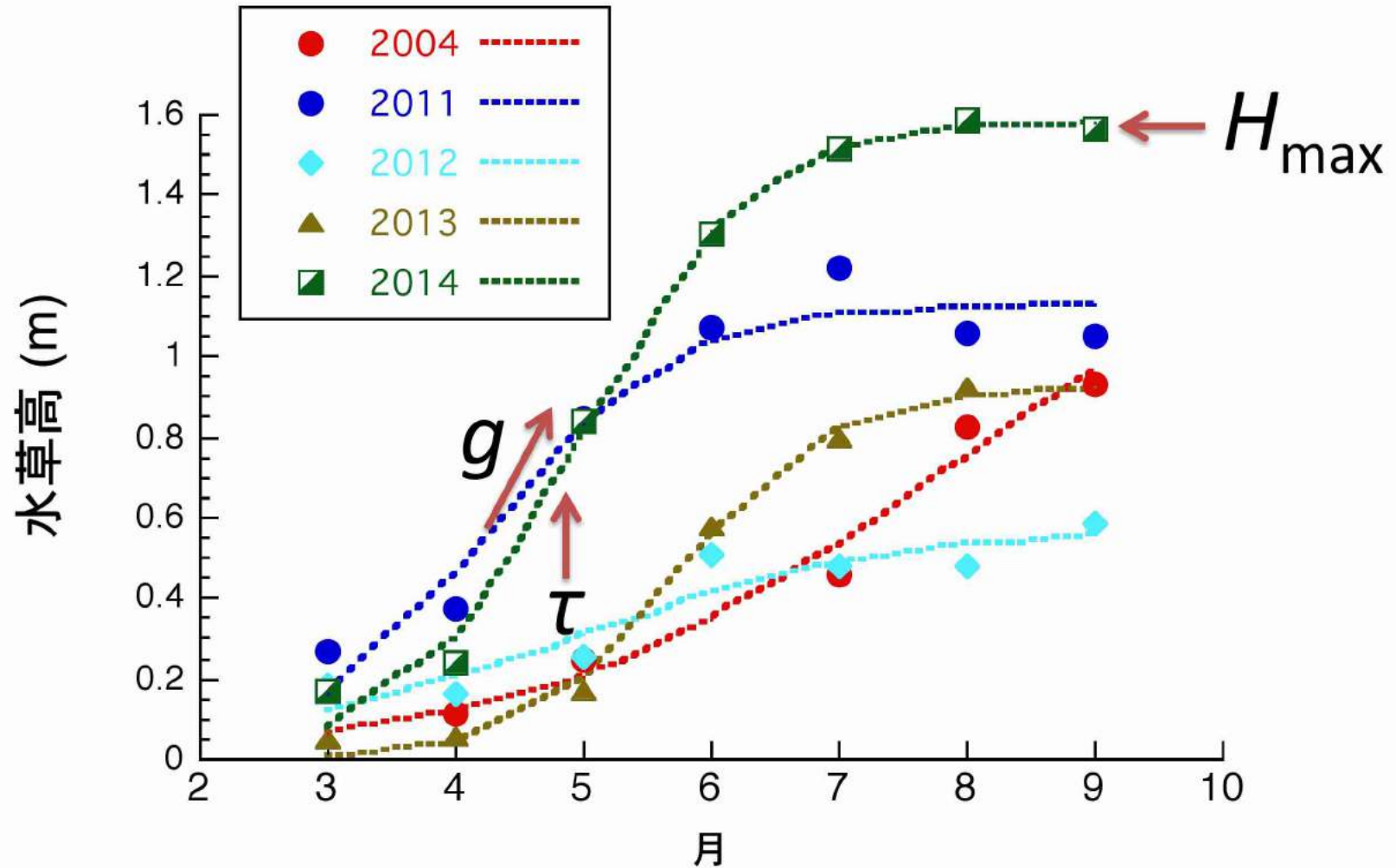
水草高でみた、年による水草の成長の違い



水草の成長はロジスティック式に良く当てはまる



水草高でみた、各年の水草成長曲線



環境因子から水草の成長モデルを予測

5月の水温 (T)、透明度 (Tr)、PO₄-P (P)、水草高 (WH) で予測可能。

① 成長速度 (g)

$$g = -0.097 \cdot T + 0.839 \cdot Tr + 319.239 \cdot P + 0.032$$

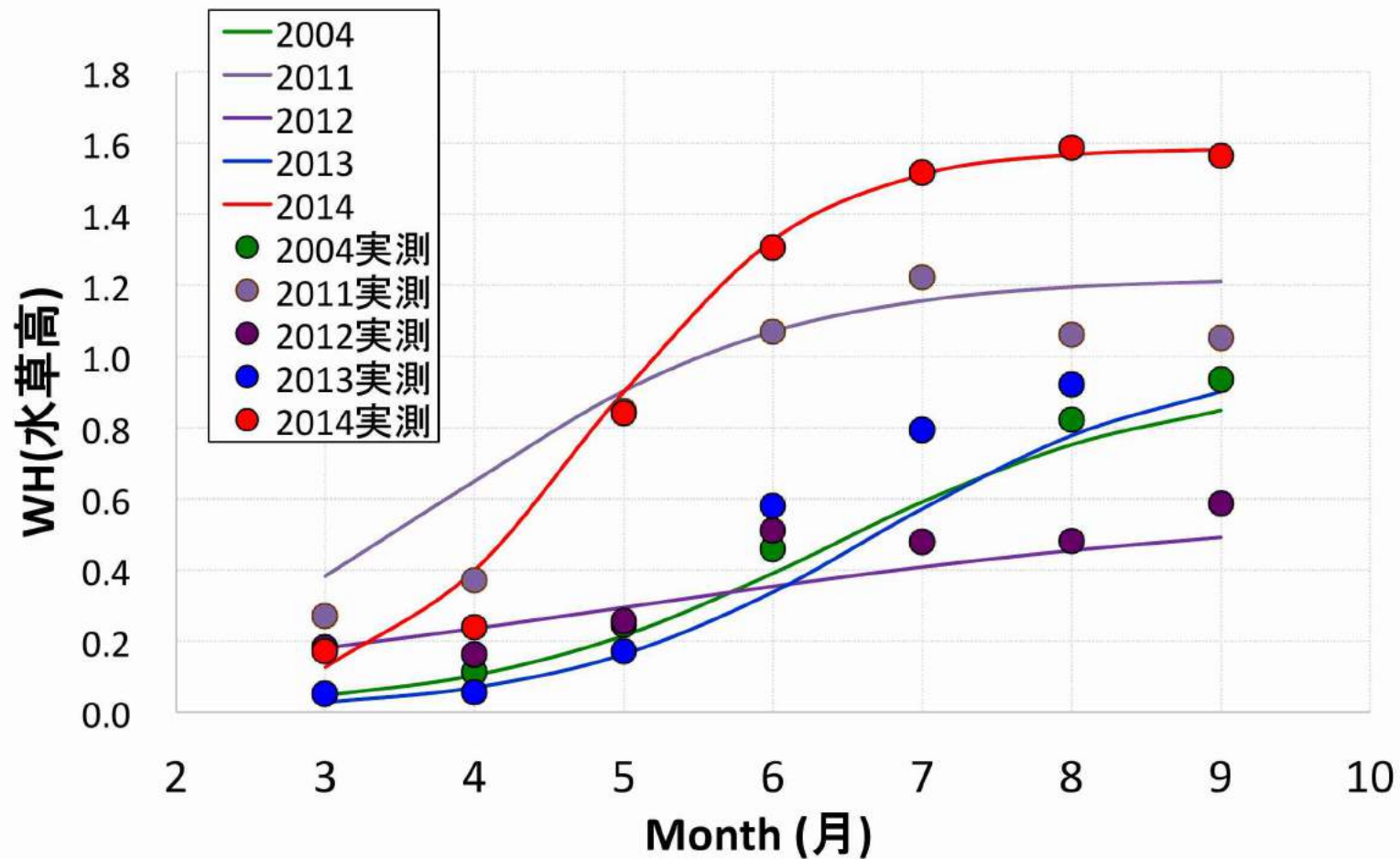
② 最大水草高 (H_{\max})

$$H_{\max} = 0.012 \cdot T + 0.756 \cdot Tr + 247.285 \cdot P - 1.387$$

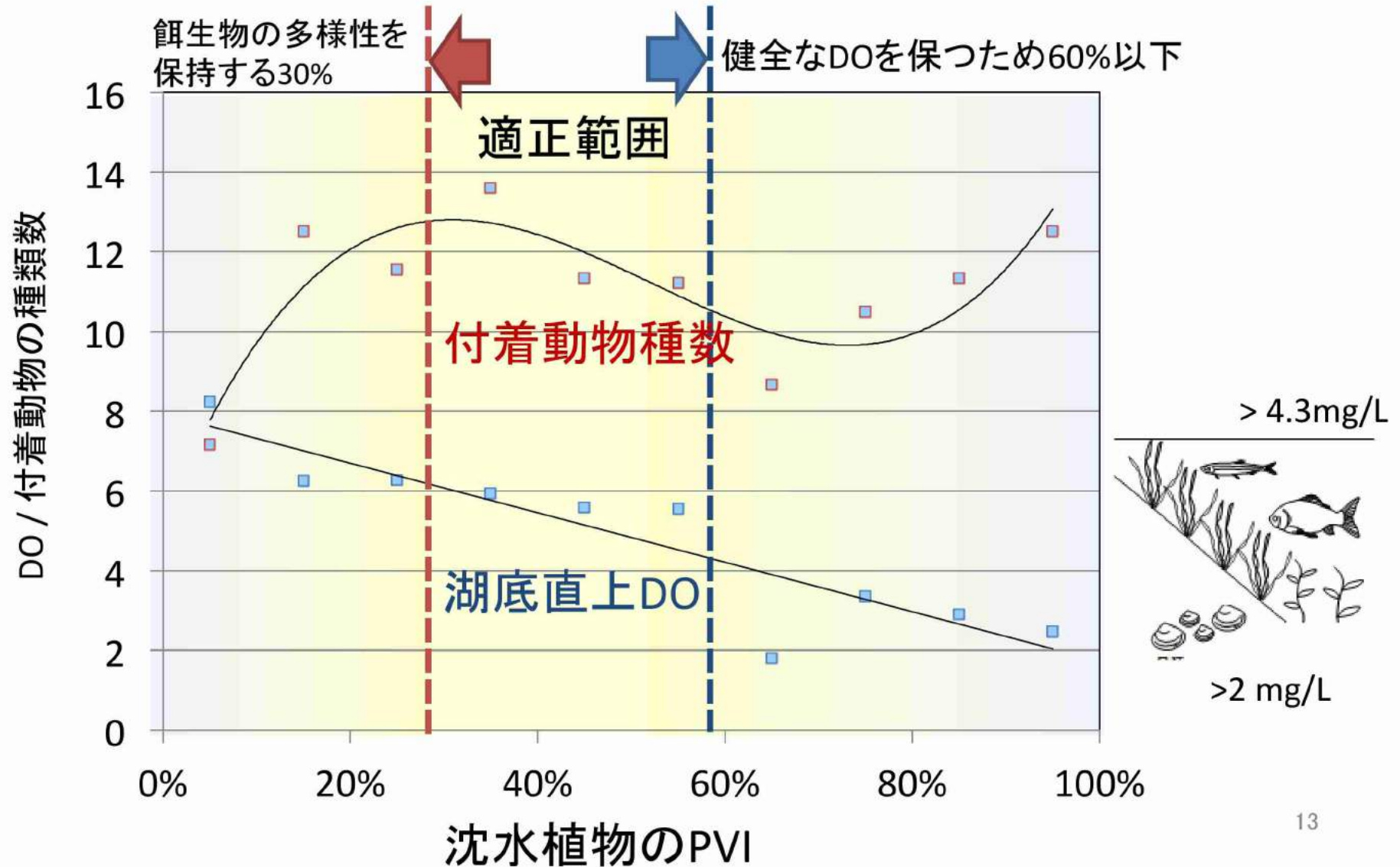
③ 成長時期 (τ)

$$\tau = \ln (H_{\max} / WH - 1) / g + 5$$

実測値と推定した成長曲線

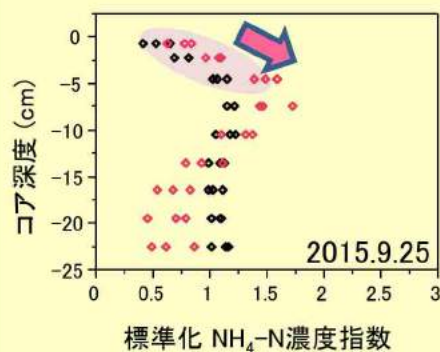


水草が占める容積割合 (PVI) と湖底直上 溶存酸素量 (DO) および付着動物種数の関係



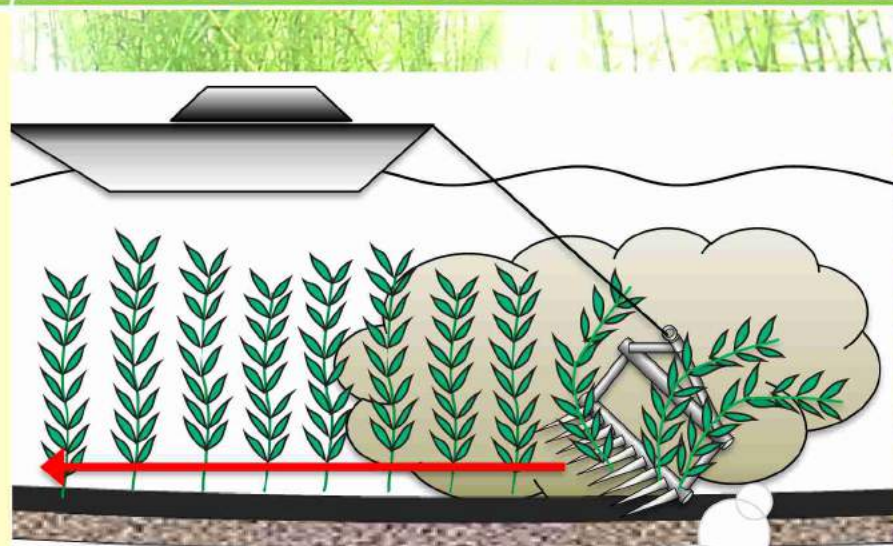
サブテーマ2:水草の刈り取りが水質及び底質に与える影響

短期的影響:底泥巻き上げに伴う底泥からの溶出量増大



底泥表層5 cmの濃度勾配の大きい物質は底泥溶出量が増える可能性大

例)9月のアンモニウムイオン



長期的影響:水草堆積物量の減少による影響



全層刈り取りを行った処理区全てで水草堆積物の厚さが有意に減少

攪乱による水質・底質への影響?

- ▶底質からのヒ素等重金属類の溶出
- ▶有機物・栄養塩の巻き上げによる溶存酸素濃度の低下



水草の刈り取りによる、短期的影響と長期的影響

👉 短期的な影響は・・・

アルカリ土類金属 (Ca, Mg, Sr) と鉄イオンの上昇



- pHの上昇
- 水酸化Alの溶出



- 湖水の水質悪化

各種無機態窒素濃度の上昇



- 南湖生態系のP律速のさらなる顕在化

👉 長期的な影響は・・・

強嫌気条件下でのMn, Fe, As溶出量の低下



- 底層DO低下リスクの軽減
- ヒ素溶出量の軽減

微好気条件下でのAs溶出量の低下



栄養塩・アルカリ土類金属の溶出量の低下

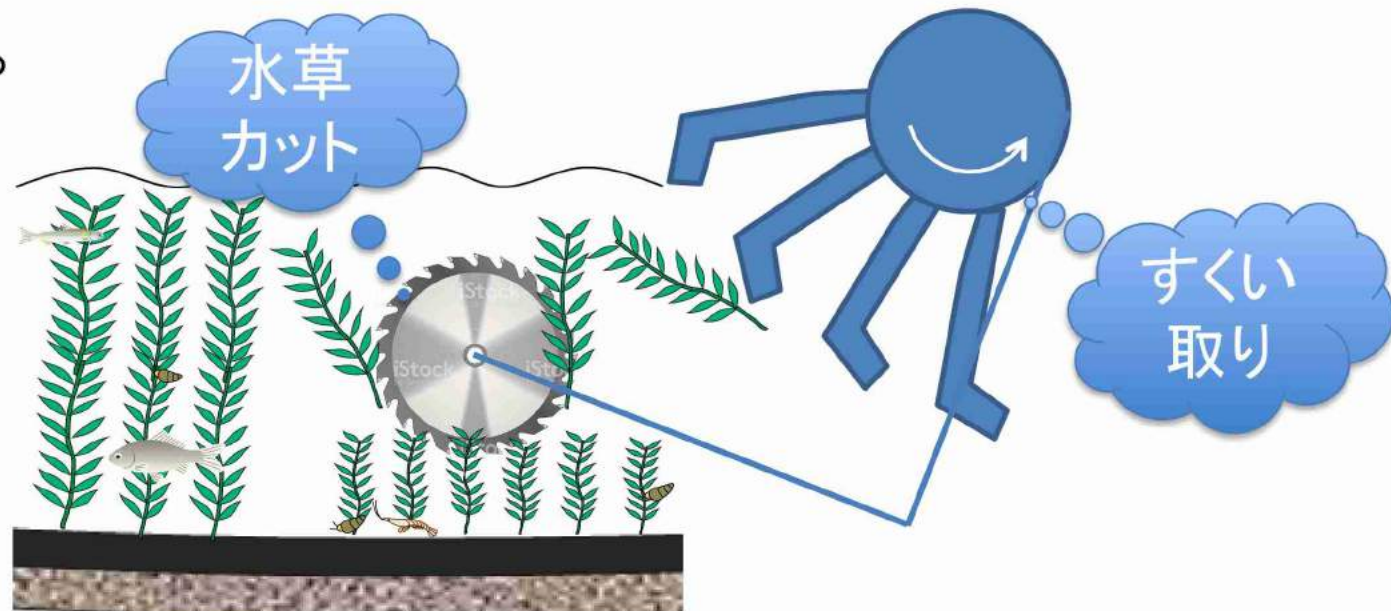


- pHの中性回帰
- 湖水の水質改善

推奨される水草刈り取り方法

刈り取り強度	ハーベスター (表層刈り取り)	貝採り漁具(現行)
弱	底泥溶出量:少 水草堆積物量:中～多	底泥溶出量:中 水草堆積物量:中～多
強	底泥溶出量:中 水草堆積物量:少	底泥溶出量:多 水草堆積物量:少

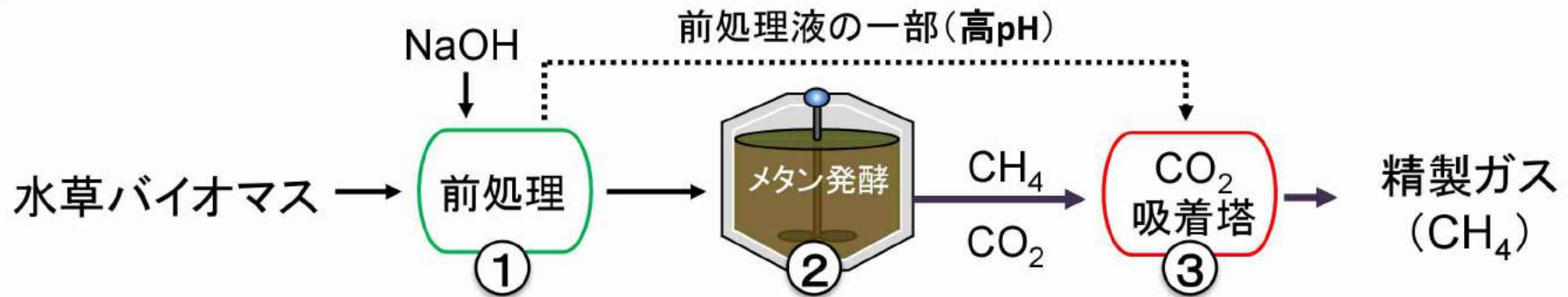
なるべく底泥を巻き上げずに、表層の水草のみ刈り取る
のが良い。



サブテーマ3:水草バイオマスの効率的な処理技術の確立

【実施内容】

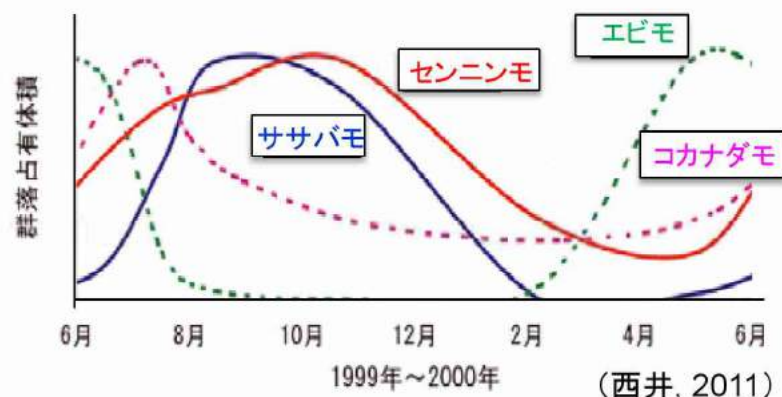
(1) 高リグニン含有水草の嫌気分解率・エネルギー(炭素)回収率の向上



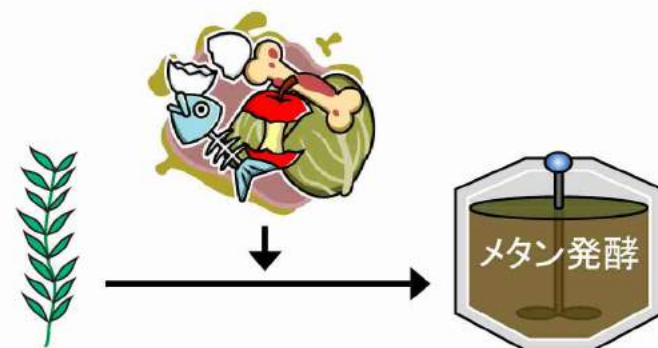
①リグニン除去による易分解化 ②最適発酵温度の検討 ③CO₂回収技術の最適化

(2) 水草の種・量の変動を考慮に入れた年間プロセスの安定化(共消化)

収穫される水草の種・量が季節変動

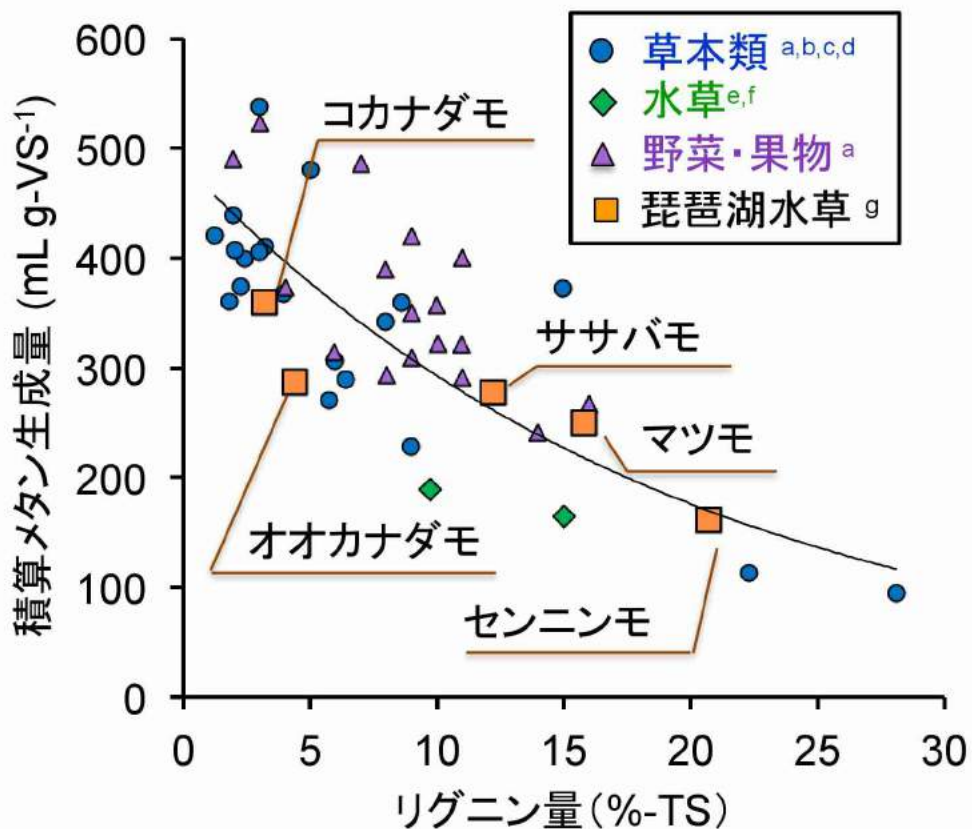


食品廃棄物との共消化効果の検討



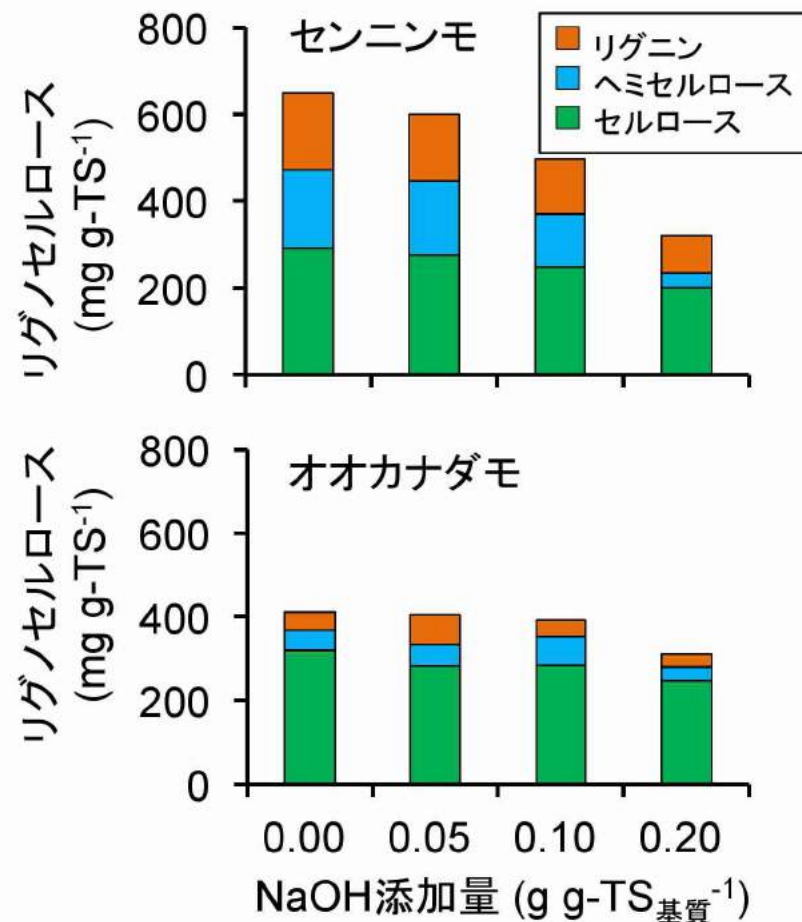
前処理:リグニンによるメタン生成量の抑制とアルカリ処理

琵琶湖の水草+他の植物バイオマスのメタン生成量とリグニン量の関係



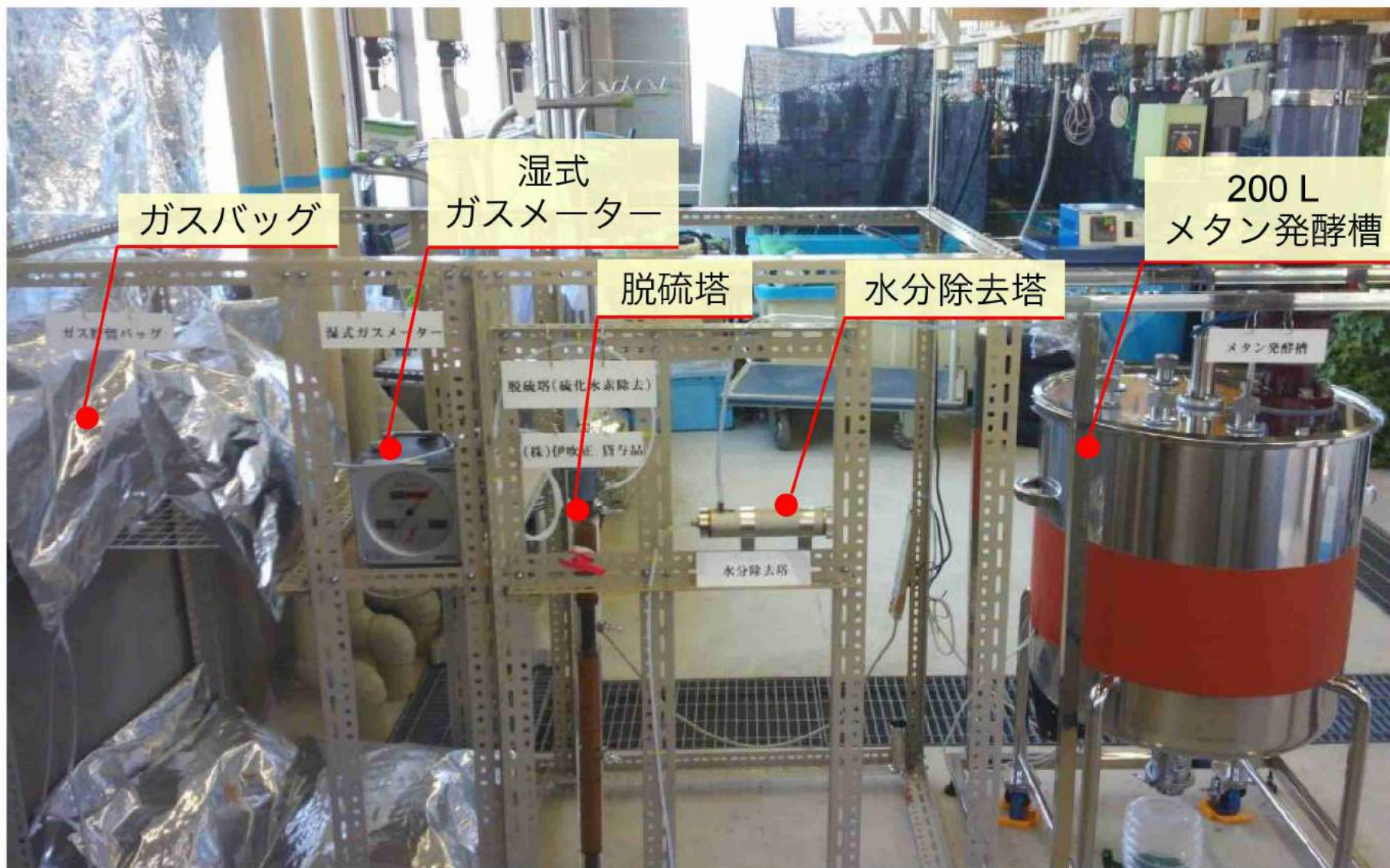
(a) Gunaseelan 2007, (b) Triolo et al. 2011, (c) Xie et al. 2011, (d) Frigon et al. 2012, (e) Chen et al. 2010, (f) Wang et al. 2010, (g) Koyama et al. 2014

アルカリ処理による水草のリグノセルロース量の変化(80°C、3時間)

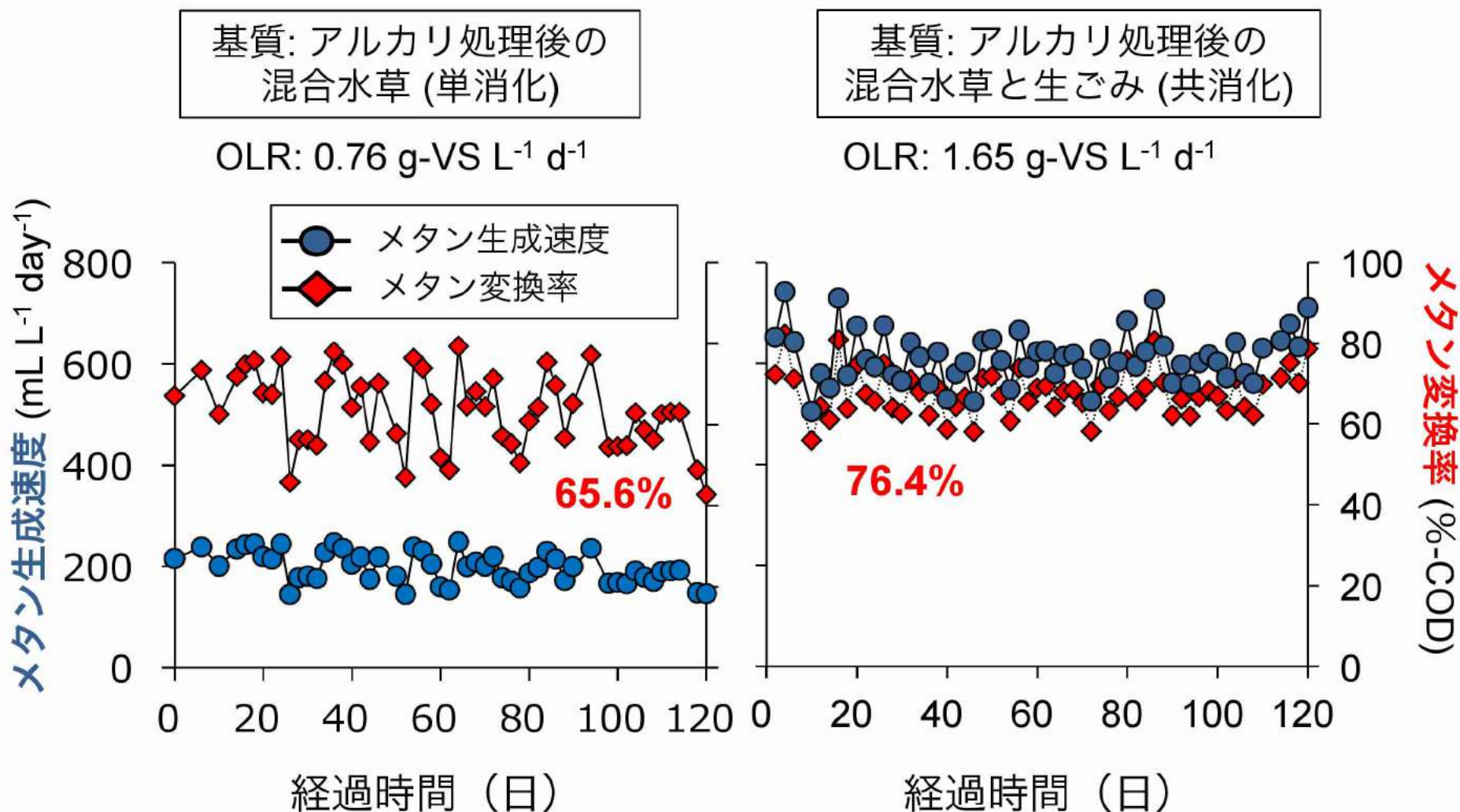


アルカリ処理はリグニンの多いセンニンモに対し有用

200 L規模のメタン発酵槽とシステム構成



200 L規模実験におけるメタン生成速度



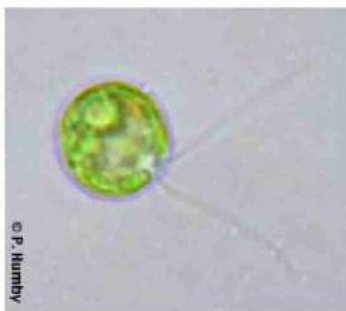
水草バイオマス (単消化)のメタン変換率は、
目標値60%を達成 (前処理無しに比べて約2倍向上)

サブテーマ4: 液分残渣を用いた藻類大量培養技術の確立

【実施内容】

(1) 液分残渣を用いた微細藻類の培養

培養に適した種、最適培養条件の検討



Chlamydomonas reinhardtii

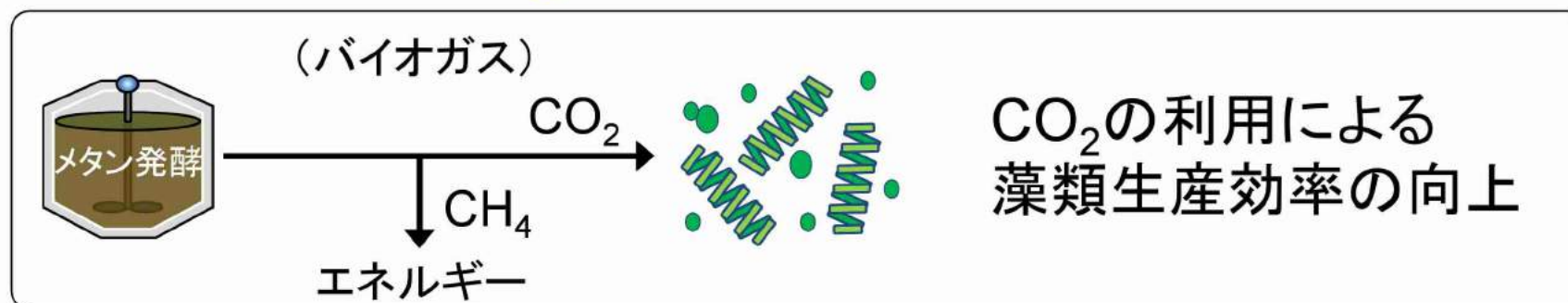


Chlorella vulgaris



Chlorella sorokiniana

(2) バイオガス中のCO₂を用いた藻類生産

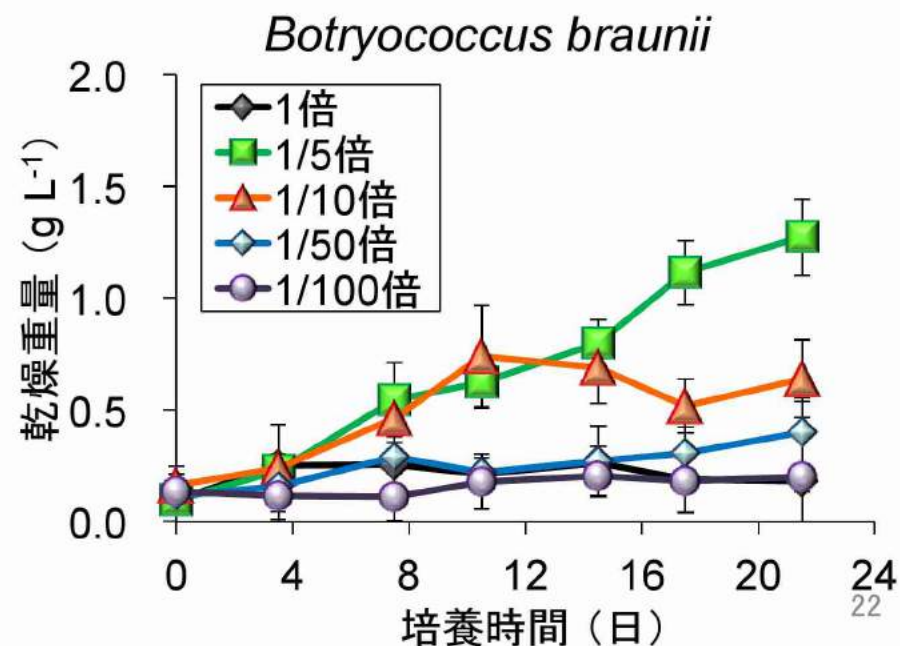


プロセス全体での炭素・栄養塩の有効利用

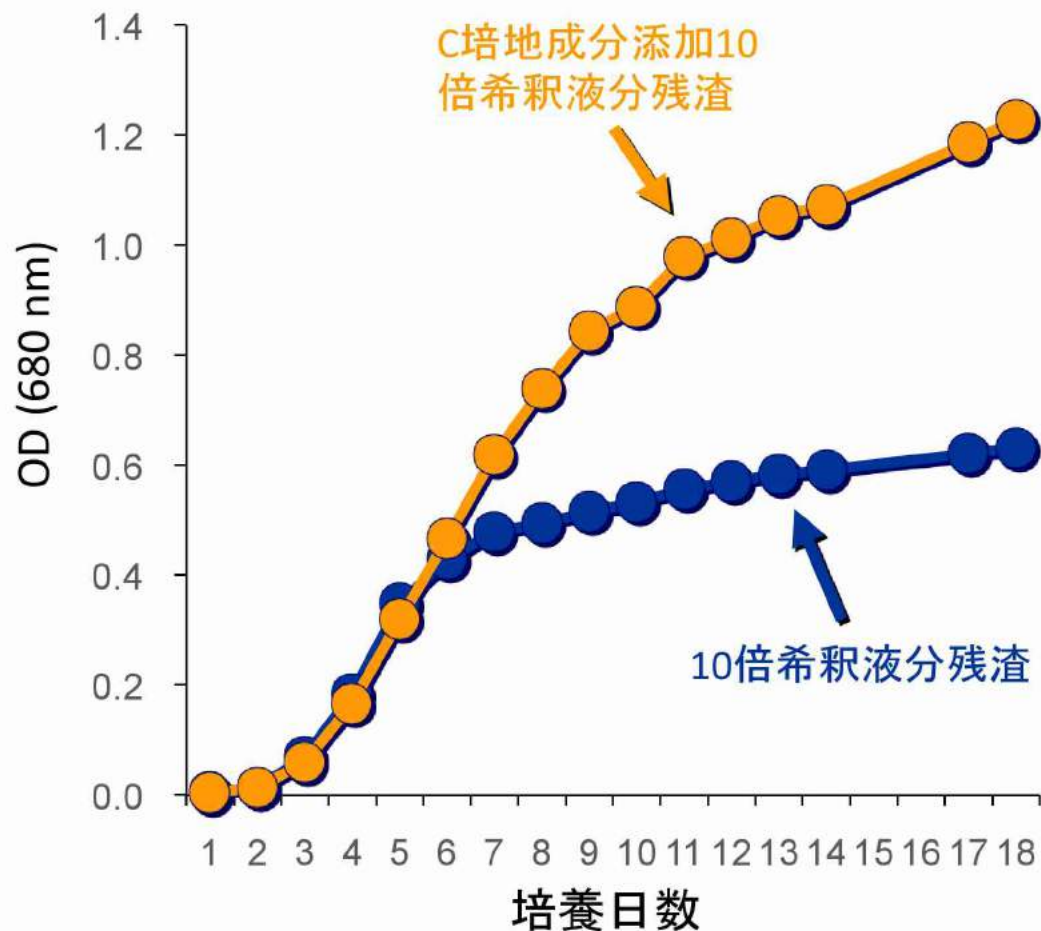
メタン発酵消化液中には、充分量のNとPが存在

藻類培養液とメタン発酵消化液に含まれる栄養塩の比較

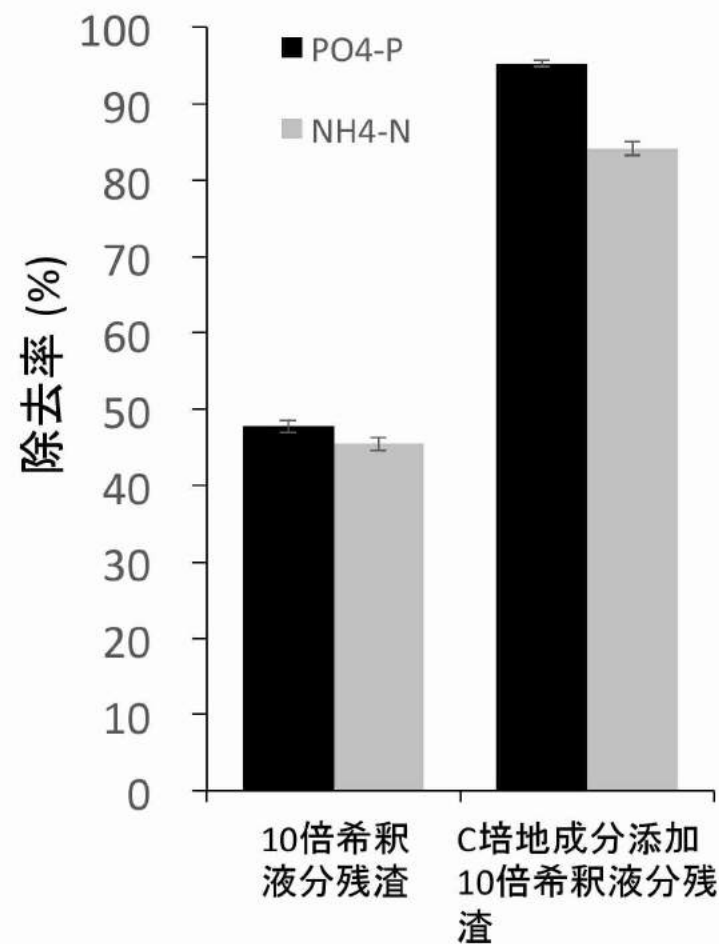
種類	T-N (mg /L)	NO ₃ -N (mg /L)	NH ₄ -N (mg /L)	PO ₄ -P (mg /L)	pH	引用文献
培養液	543	543	—	163	7.0	Ip et al. 2005
消化液(コカナダモ)	2151	—	1154	108	8.1	森田ら(未発表)
消化液(センニンモ)	1120	—	855	83	8.0	森田ら(未発表)



実験1. 液分残渣の不足成分あるいは藻類増殖抑制物質の有無

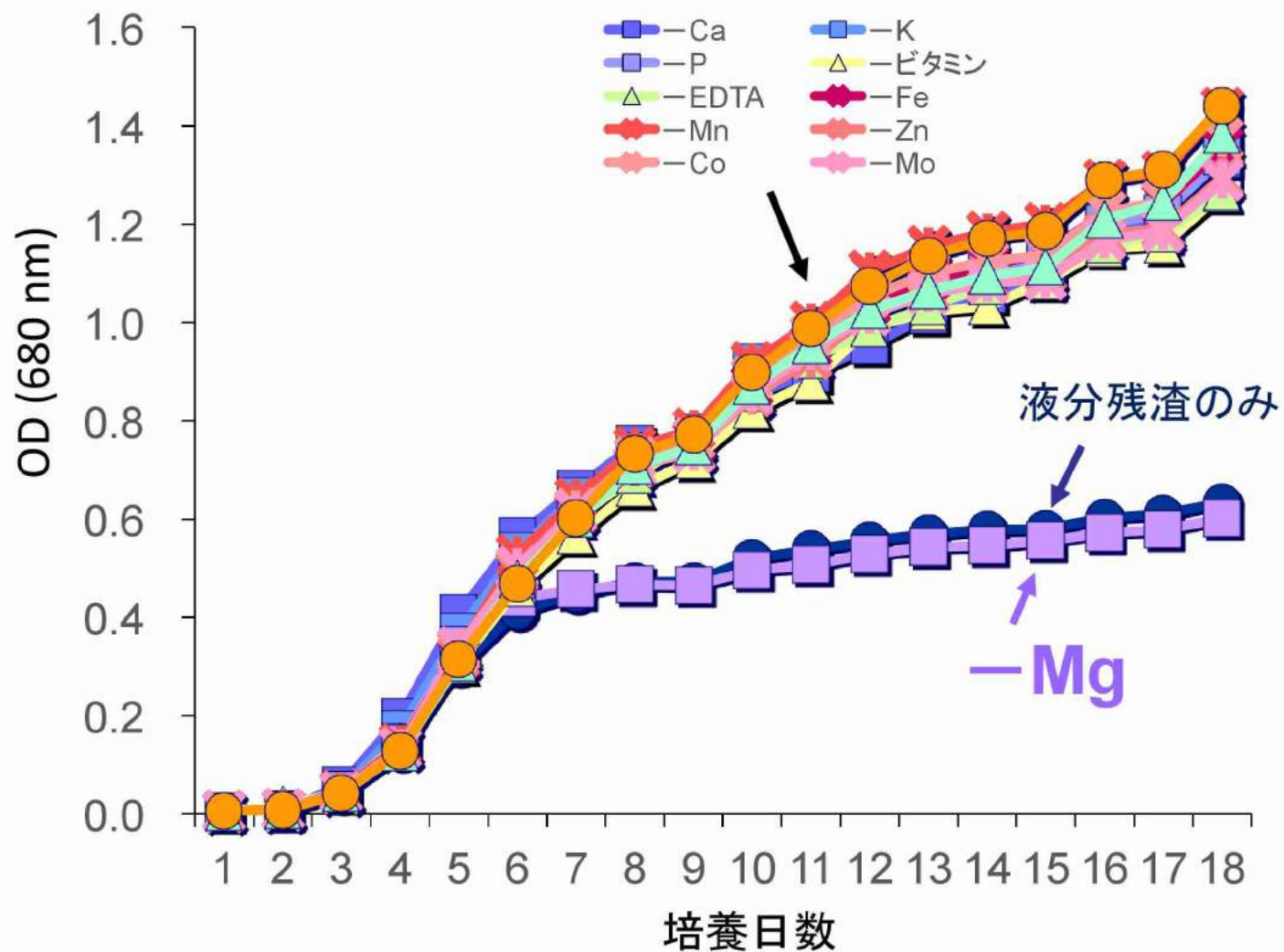


10倍希釈液分残渣およびこれにC培地を添加して培養したクロレラ・ソロキニアーナの増殖曲線



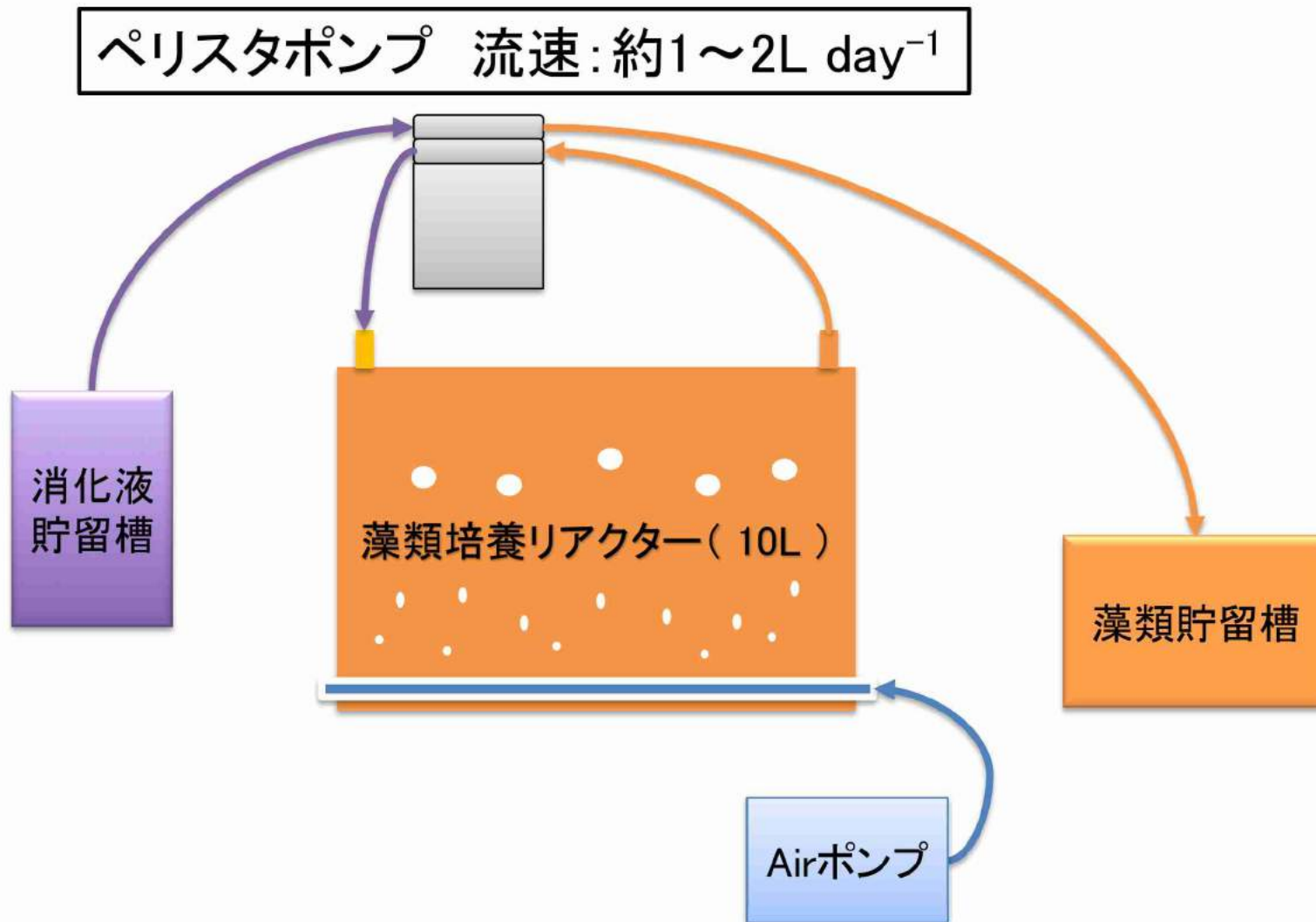
各処理区のアムモニアおよびリン酸塩の除去率

実験2. 液分残渣中に不足する成分の特定



各処理区において培養したクロレラ・ソロキニアーナの増殖曲線

10-Lリアクターでの実証実験



10-Lリアクターでの実証実験



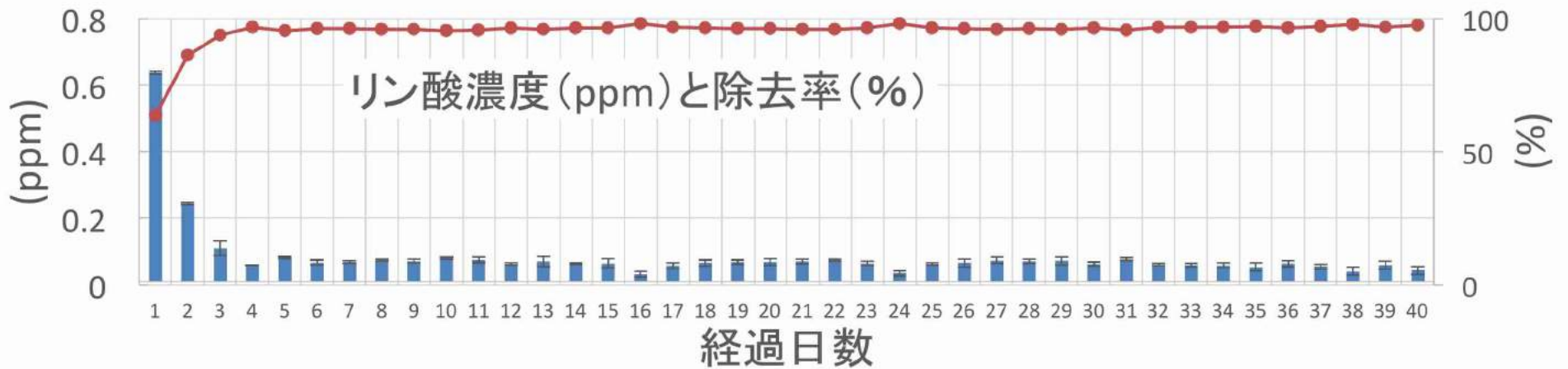
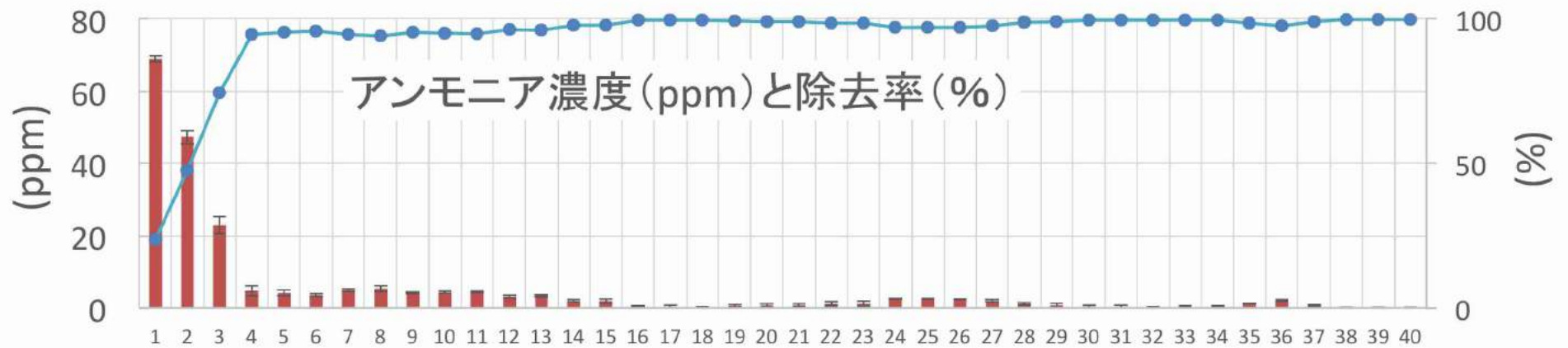
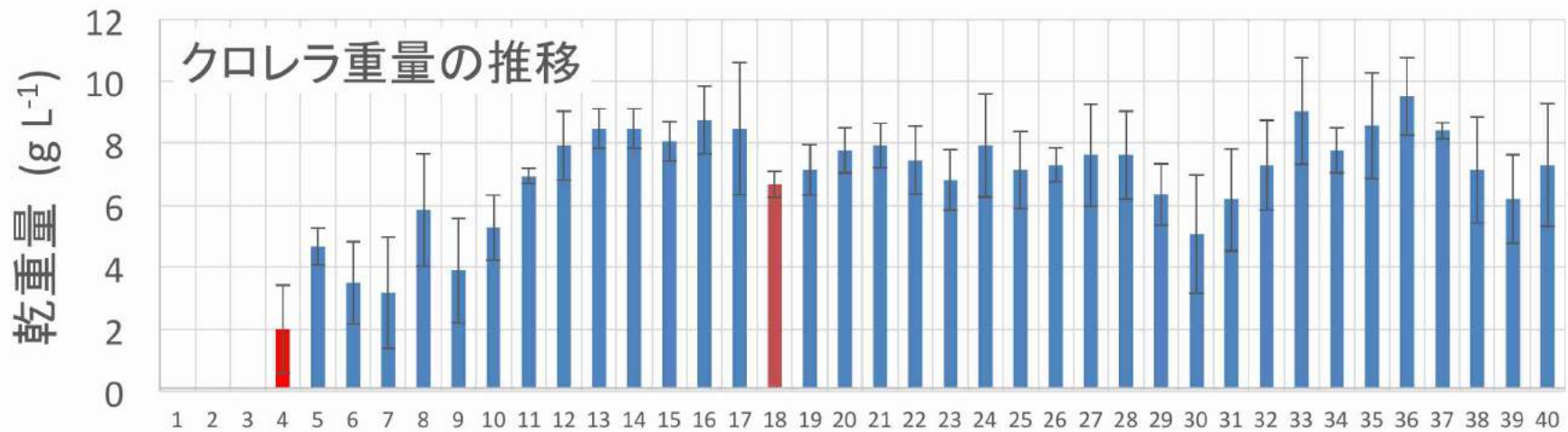
1日目



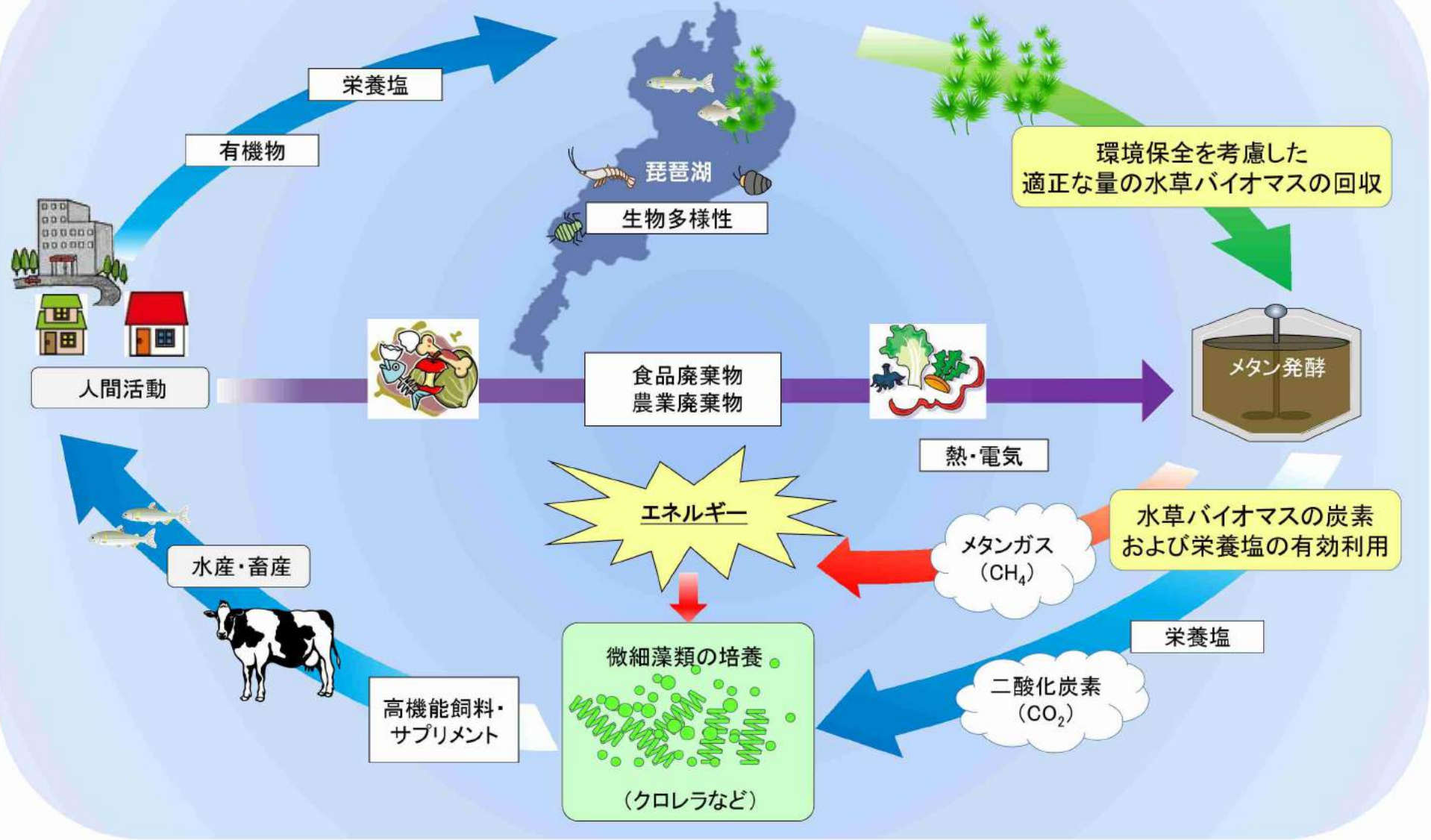
2日目



3日目



私たちの目指す現代版『里湖循環型・自然共生社会』



研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

①小・中・高等学校の理科授業での特別授業

実施日	学校名等	所在地	説明した「研究成果」、「実生活との関連」等
H27.9.7	滋賀大附属中学校	滋賀県	・水草問題と水草管理の手法の研究成果にもとづいて生態系管理の実情を説明。

②地域の科学講座・市民講座での研究成果の講演

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H27.7.7	野洲市社会福祉協議会	琵琶湖講習	滋賀県	30名	・琵琶湖の水草大量繁茂の現状調査の結果につき講演。 ・参加者から生物多様性保全について質問があった。
H29.2.25	茨城県霞ヶ浦環境科学センター	第3回霞ヶ浦勉強会	茨城県	30名	・琵琶湖の水草帯における底層水の溶存酸素濃度とその環境影響について本講演の中で紹介。

③大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H27.8.2 ～8.3	創価大学	循環型社会の形成に向けて	東京都	100名	・水草をアルカリ加熱処理することでメタン変換効率が向上するという成果につき講演。 ・参加者から他の前処理方法につき質問があった。
H27.11.27	滋賀県立大学	新シーズ発表会	滋賀県	41名	・水草バイオマスの持続可能な収穫と利活用による湖沼生態系保全技術の確立について講演。
H28.8.21	創価大学	循環型社会の形成に向けて	東京都	100名	・水草を効率的にメタン発酵し、消化液を用いたクロレラ培養が可能であるという成果につき講演。 ・参加者からクロレラの利用方法につき質問があった。

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

③大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演(つづき)

実施日	主催者名	講座名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H29.2.19	京都大学	琵琶湖研究の最先端にふれる	京都府	56名	・水草の管理基準の策定と水草のメタン発酵および消化液を用いた微細藻類培養による、水草の資源としての持続的利用方法について講演した。

④一般市民を対象としたシンポジウム、博覧会、展示場での研究成果の講演・説明

実施日	主催者名	シンポ名	開催地	参加者数	講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等
H27.6.27	滋賀県	琵琶湖の水草フォーラム	滋賀県	105名	・南湖の湖底環境調査と、水草のメタン発酵の高効率化、消化液での微細藻類培養という成果につき講演。 ・参加者から水草の利活用方法につき質問があった。
H27.9.14	公益社団法人 滋賀県環境保全協会	びわ湖水草活用フォーラム	滋賀県	30名	・水草のメタン発酵の高効率化、消化液での微細藻類培養という成果につき講演。 ・参加者から処理方法のコストにつき質問があった。
H28.8.16	草津市	草津市エコフォーラム	滋賀県	130名	・メタン発酵と微細藻類培養による水草の持続的利活用に関する技術開発について講演。
H28.10.14	BioJapan 組織委員会	BioJapan 2016	神奈川県	30名	・水草のメタン発酵消化液にマグネシウムを添加することで微細藻類培養が向上するという成果につき講演。 ・参加者から微細藻類の利活用につき質問があった。
H28.12.13	TAMA-TLO	産学連携事業発表会2016	東京都	20名	・特別講演として、水草のメタン発酵の高効率化と微細藻類培養法という成果につき講演。 ・参加者から特許関連の内容につき質問があった。

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

⑤インターネット上での研究成果の継続的な発信

開始日	種類	アクセス/参加者数	発信した「研究成果」等
H27.1.10	ホームページ、SNS (Facebook)	アクセス約5000 SNS参加者70名	・プロジェクト概要ならびに、水草をアルカリ加熱処理することでメタン発酵効率が向上するという成果につき発信。(創価大・戸田研究室)

⑥その他、顔の見える双方向コミュニケーション活動を推進する活動

実施日	実施内容、活用した「研究成果」等
H27.2.5	・琵琶湖環境科学研究センターを訪問した滋賀県公明党議員団に対し水草現状視察および研究の進捗状況および成果を説明し、意見交換を行った。
H27.8.2～8.3	<p>・大学での一般公開において「琵琶湖の水草問題に挑む！ー増えすぎた水草からバイオエネルギーとクロレラを創るー」と題し、以下の3つを実施（見学者：約100名、場所：創価大学）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) プロジェクト全体概要のポスター展示・説明 2) 琵琶湖南湖で採取した水草を巨大水槽に入れて展示 3) 小学生向け企画「琵琶湖の水草の名前当てゲーム」 <p>・アルカリ加熱前処理によりメタン発酵効率が向上するという成果を活用し、水草から得られた消化液は微細藻類培養に使用可能であるということを説明した。</p> <p>・参加者からは「水草の過剰繁茂で困っているのでは是非実現して欲しい」との感想があった。</p>
H28.7.27	・琵琶湖環境科学研究センターを訪問した滋賀県自民党議員団に対し水草研究の進捗状況および成果を説明し、有効活用へ展望について意見交換を行った。
H28.5月～H29.1月 (随時対応)	<p>・実証実験装置の見学ならびにプロジェクト概要の説明（見学者：約80名、場所：滋賀県立大学）</p> <p>・水草メタン発酵ならびに微細藻類培養の最適化という成果、および実証実験について説明。</p>

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

⑥その他、顔の見える双方向コミュニケーション活動を推進する活動(つづき)

実施日	実施内容、活用した「研究成果」等
H28.8.21	<ul style="list-style-type: none">・大学での一般公開において「琵琶湖の水草問題に挑む！ー増えすぎた水草からバイオエネルギーとクロレラを創るー」と題し、以下の3つを実施（見学者：約100名、場所：創価大学）<ol style="list-style-type: none">1)プロジェクト全体概要のポスター展示・説明2)琵琶湖南湖で採取した水草を巨大水槽に入れて展示3)小学生向け企画「MIZUKUSA GO」(琵琶湖の水草の名前当てゲーム)・水草を効率的にメタン発酵し、消化液を用いたクロレラ培養が可能であるという成果を活用し、本プロジェクトが目指す循環型社会について説明した。・参加者からは「水草から得られるクロレラの量について」の質問があった。

本課題の成果に係る「査読付」論文(国際誌・国内誌)の発表

執筆者名	発行年	論文タイトル	ジャーナル名等
Koyama, Toda <i>et al.</i>	2015	Enhancing anaerobic digestibility of lignin-rich submerged macrophyte using thermochemical pre-treatment.	Biochem. Eng. J. 99, pp. 124-130
Koyama, Ishikawa <i>et al.</i>	2016	Inhibition of anaerobic digestion by dissolved lignin derived from alkaline pre-treatment of an aquatic macrophyte.	Chem. Eng. J. 311, pp. 55-62

他1本。 以上は全て、脚注又は謝辞に「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を記載。

本課題の成果に係る「査読付論文に準ずる成果発表」論文の発表 又は 本の出版

執筆者名	発行年	タイトル	ジャーナル・出版社名等
高津文人・霜鳥孝一	2016	新しい底泥環境研究(特集「湖沼の底泥を覗く」)	水環境学会誌 39 (8), pp. 289-293
伴修平 他	2016	水草バイオマスの持続的利用を通じた里湖循環型社会の可能性	環境技術 45 (9), pp. 478-483

他5本・冊。

マスコミ発表(プレスリリース、新聞掲載、TV出演、報道機関への情報提供 等)

種類	年月	概要	その他特記事項(あれば)
プレスリリース	2016.7.27	本プロジェクトの最終年に当たりベンチスケールでのメタン発酵および微細藻培養の成果について公表した。	びわ湖放送ニュース、新聞5社に掲載。
新聞掲載	2016.9.8	「湖の厄介者」水草活用, 朝日新聞朝刊掲載	

他6件。 以上は全て「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」の掲載を情報提供先に依頼。

国内外における口頭発表(学会等)

学会等名称	年月	発表タイトル	その他特記事項(あれば)
第50回日本水環境学会年会	2016.3	水草の効率的なメタン発酵処理条件の検討ならびに微生物相の解析	渡邊, 小山, 石川, 伴, 黒沢, 戸田
第33回国際陸水学会(SIL)	2016.8	Novel lake ecosystem management by sustainable harvesting and effective utilization of aquatic macrophytes biomass; overview for the concept of our on-going project	Ban, Toda, Ishikawa, Imai

他29件。以上は全て「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を明示。

知的財産権

知的財産権の種類	概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
特許権(出願)	水草のメタン発酵消化液を用いる微細藻類の培養方法	(特願2016-200156)

行政ニーズに即した 環境政策への貢献事例

概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
滋賀県琵琶湖政策課主催 水草対策チーム会議にて、成果の一つである適正な水草量および水草成長モデルを発表し、今後の対策計画に役立てる。	
島根県環境生活部環境政策課に研究成果の一つである適正な水草量とその考え方について資料提供し、宍道湖の水草対策に利用されることになった。(2017.2.10)	

行政ニーズに即した 今後の環境政策への貢献「見込み」

概要(簡潔に)	その他特記事項(あれば)
成果の一つである生物多様性と湖沼の健全性からみた適正な水草量は琵琶湖南湖の水草量の目標として滋賀県の環境行政に貢献できる可能性がある。	
成果の一つである水草成長モデルは水草の刈取り計画を立てる上で滋賀県の環境行政に貢献できる可能性がある。	