

5B-1102

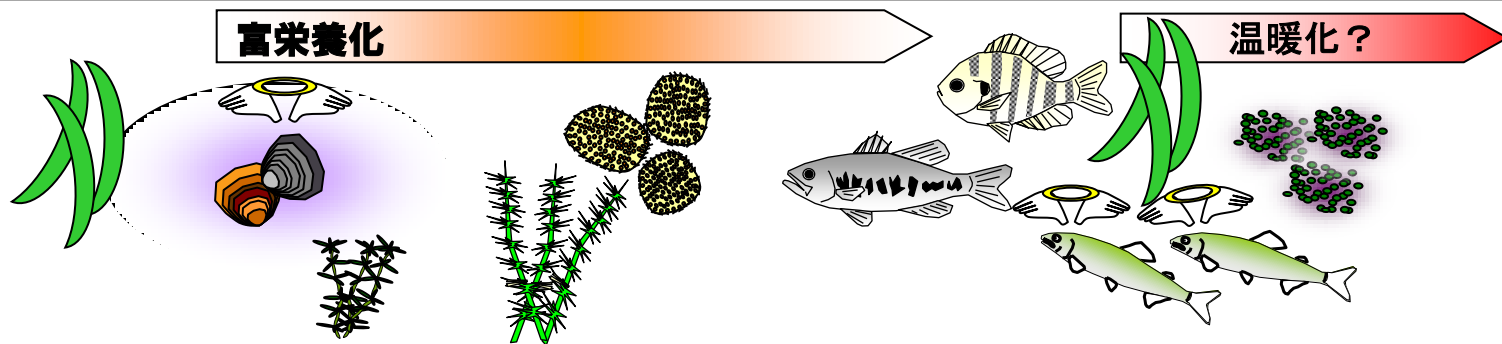
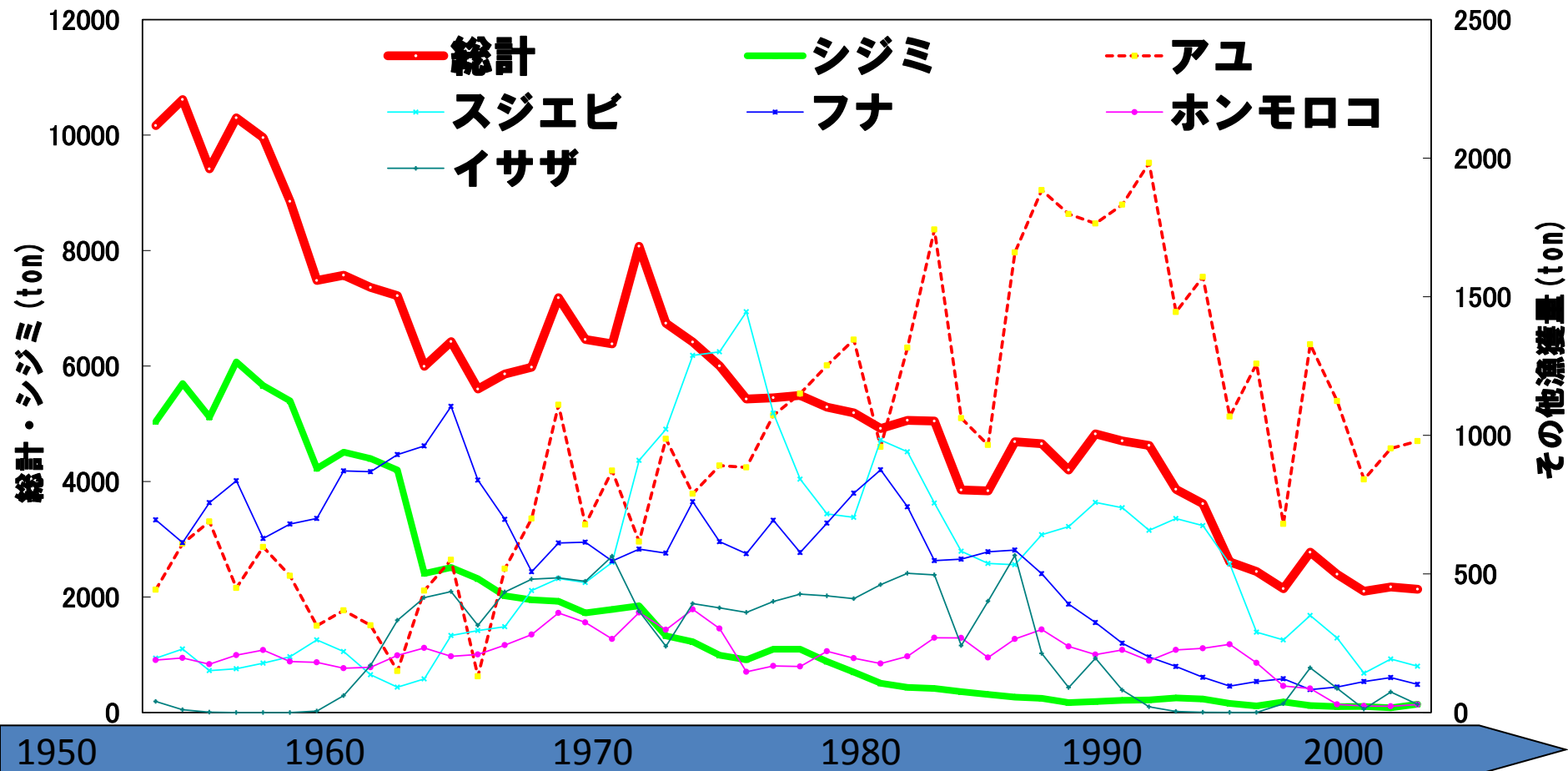
# 湖沼水質形成における沿岸帯の機能と その影響因子の評価 (FY2011-FY2013)



平成23年～平成25年  
終了課題成果報告会

環境問題  
対応型研究

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター  
埼玉県環境科学国際センター  
龍谷大学理工学部、東レテクノ(株)  
研究代表者 一瀬 諭

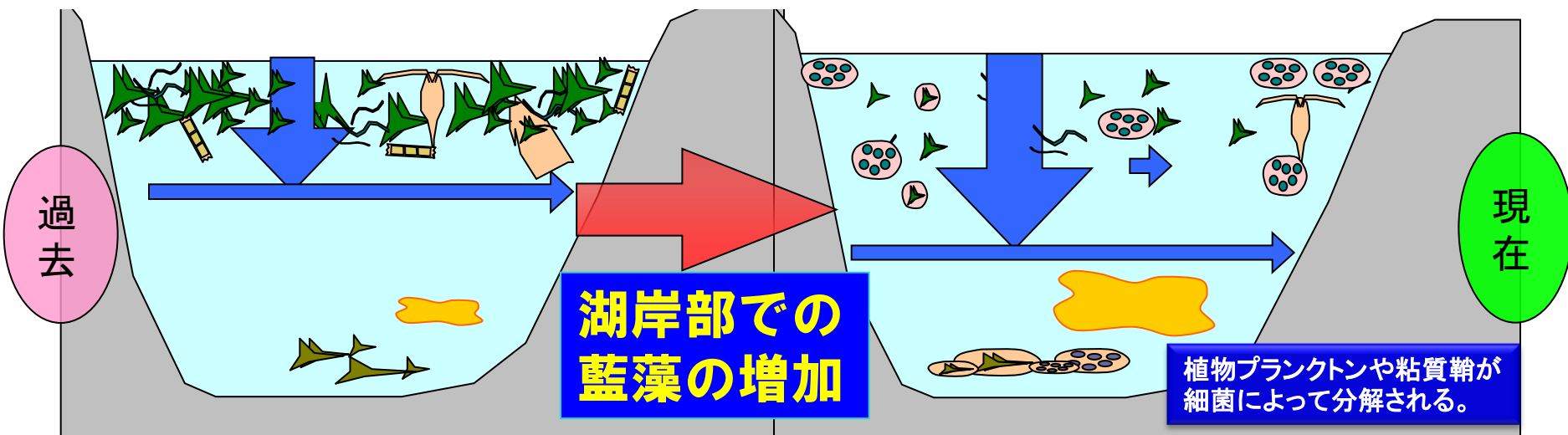


**背景:琵琶湖の漁獲量の減少**

滋賀県水産課:滋賀県水産試験場提供

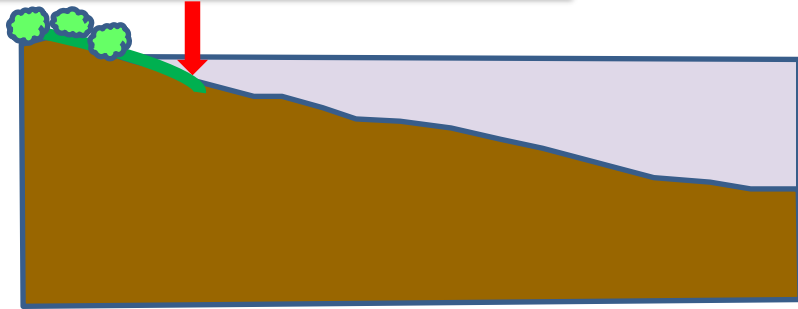
# 既往研究：植物プランクトンの動向と湖内生産

- ★透明度の上昇と夏季に**群体性藍藻の増加** (用水と廃水 vol. 55)
- ★植物プランクトン細胞サイズの小型化と生産層拡大 (Limnology, vol.14)
- ★Chl-aには反映されない粘質鞘の増加 (水処理生物学会誌 vol.49)
- ★植物プランクトンが生成する粘質鞘 (高分子:多糖類) が分解によって難分解性有機物 (低分子:フルボ酸) 増加の一要因となっている。 (環境省委託研究報告書,h22)



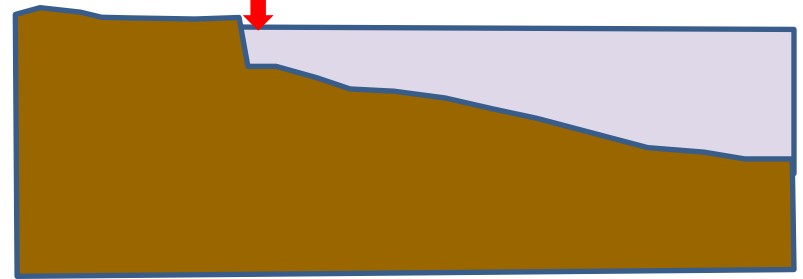
では、これらの**藍藻**の発生源は？

自然的護岸



道路整備  
宅地造成

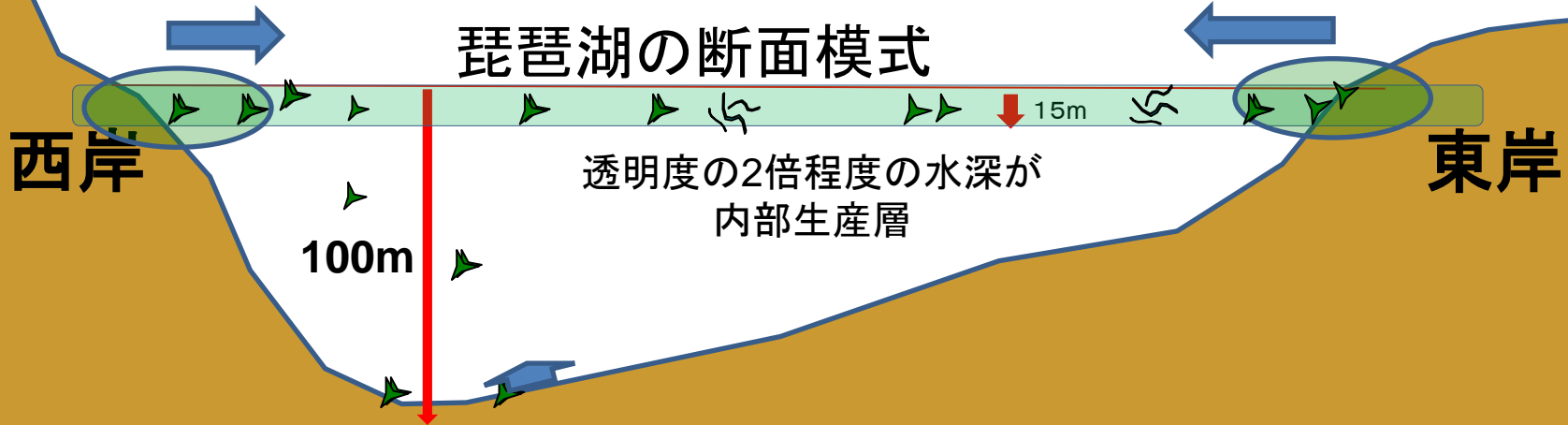
人工的護岸



琵琶湖における藍藻の発生源を探る。

山地

平野

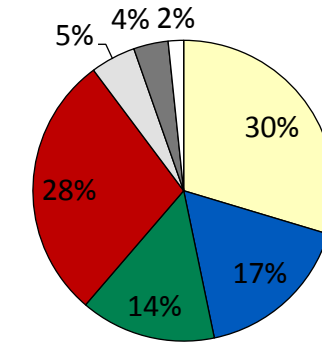


# 藍藻の発生源は？

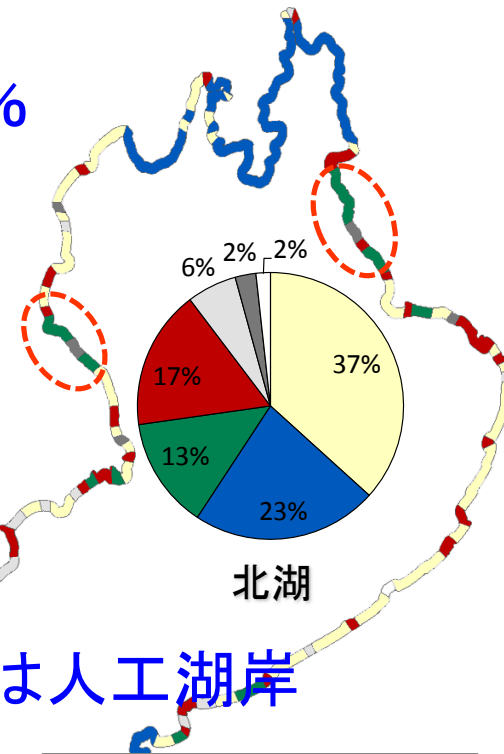
南湖の人工湖岸化の進行  
 →湖辺域の生態的機能の劣化  
 =生物の生息環境の悪化

仮説: 藍藻の増加と人工湖岸

琵琶湖全体の40%

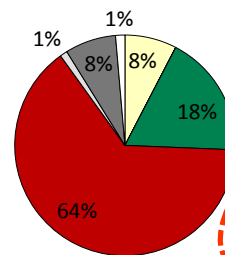


琵琶湖本湖岸全域



北湖

南湖全体の74%は人工湖岸



南湖

- 砂浜湖岸
- 山地湖岸
- 植生湖岸
- 人工湖岸1
- 人工湖岸2
- 人工湖岸3
- 水面

琵琶湖岸の環境変遷カルテ

(H23.3: 第2期 政策課題5)

湖岸堤及び管理用道路(水資源機構)

# 本研究における沿岸帯の定義

- 湖沼における沿岸帯は、生物の生活場所の特性と生物構成から、沿岸帯、沖帯、深底帯の3つの生態区分に分けられ、沿岸帯は、水深の浅い区域で、波打ちぎわから湖心に向かい抽水植物、浮葉植物、沈水植物が順に帯状に分布している水域である。
- 本研究での沿岸帯の定義 <地点の選定>  
琵琶湖の透明度は北湖平均で5~7m、生産層は透明度の約2倍と仮定すると、水深0~15mの範囲内の水域をここでは沿岸帯と定義した。

「シードバンクとは」=「植物プランクトンや藻類の種の保存庫・供給源」



自然的護岸 愛知川湖岸側線



人工的護岸帯 長浜湖岸側線

# 湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価

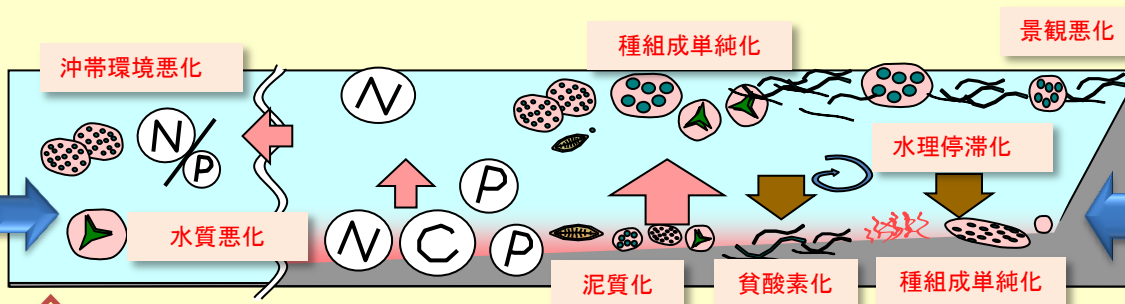
サブテーマ1~6

全体概要

## 利便性を求めてきた湖岸帯の環境悪化を評価

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

プランクトン動態および水質解析: 沿岸帯評価 (サブテーマ 1)



滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

琵琶湖の沿岸帯のシードバンク機能評価 (サブテーマ 2)

浅い富栄養化池沼の好気、嫌気条件におけるシードバンクのポテンシャルの把握 (サブテーマ 3)

## 人工的湖岸の弊害 (悪循環スパイラル)

湖岸堤整備

埼玉県環境科学国際センター

利便性の追及

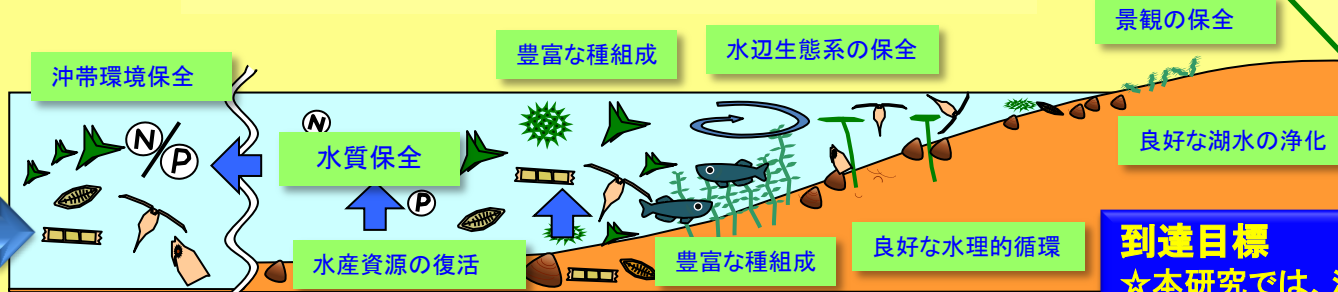
## 琵琶湖生態系に及ぼす沿岸帯の役割

行政的手法で再生

龍谷大学

## 藍藻抑制に配慮した沿岸帯の再生

水域に回帰してきたプランクトンの増殖、生産とそれに伴う水質影響評価 (サブテーマ 5)



## 底質環境を創造する手段についての解析する。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

総合解析 湖沼水質形成やプランクトン群集維持における沿岸帯の役割の評価 (サブテーマ 6)

東レテクノ(株)

沖帯および沿岸域の底質環境の分析と解析 (サブテーマ 4)

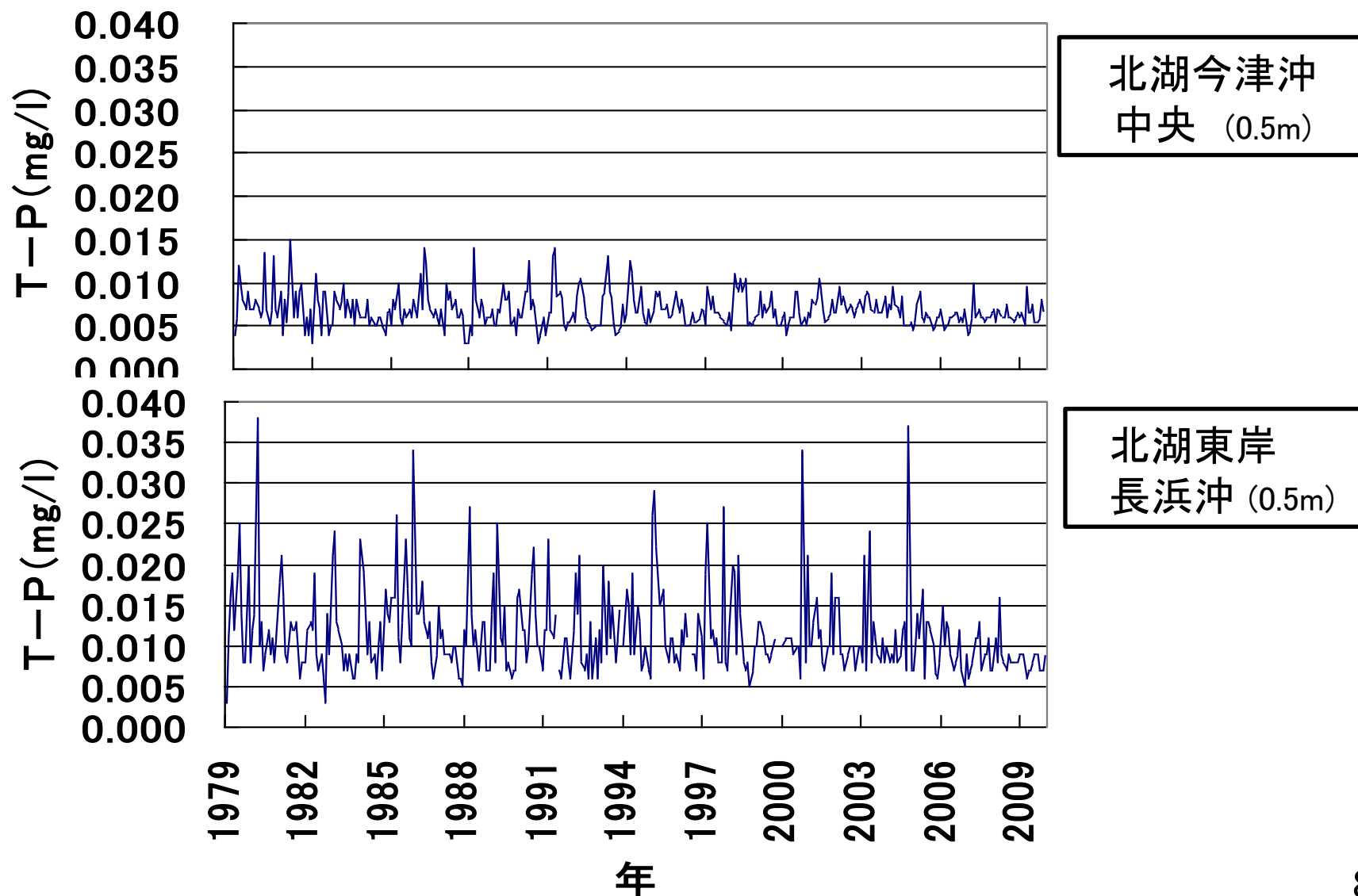
## 到達目標

☆本研究では、沖帯への植物プランクトン種の供給源としての沿岸帯の評価を行うことを目的とし、底質環境が湖沼水質および藻類やプランクトン群集構造に与える影響について明らかにする。

# 琵琶湖北湖における総リン(T-P)の長期変動

サブテーマ1

沿岸域および沖帯の水質分析結果の一例

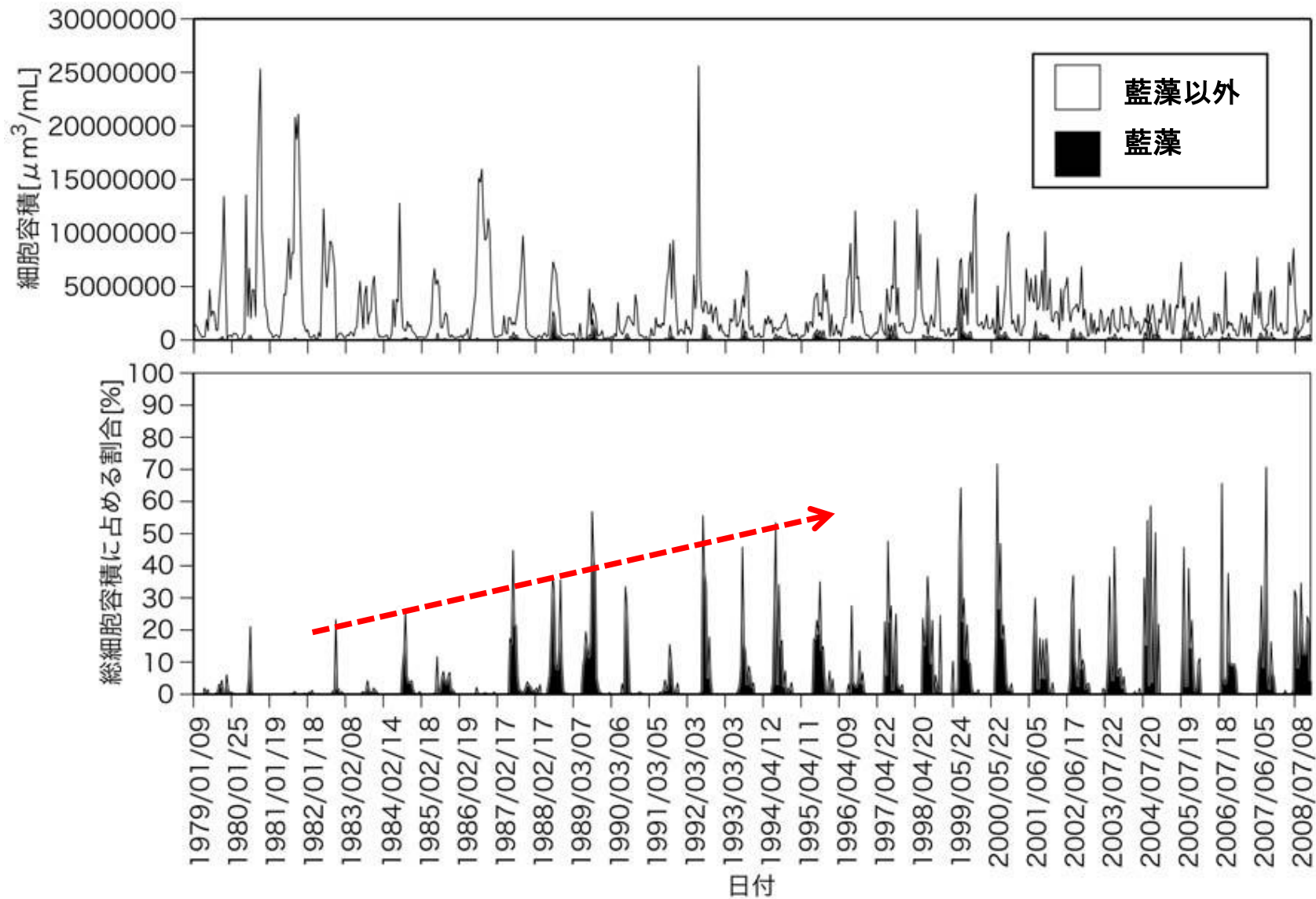




# 琵琶湖北湖における植物プランクトン生物量と藍藻の占める割合 (北湖今津沖中央、0.5m層)

サブテーマ1

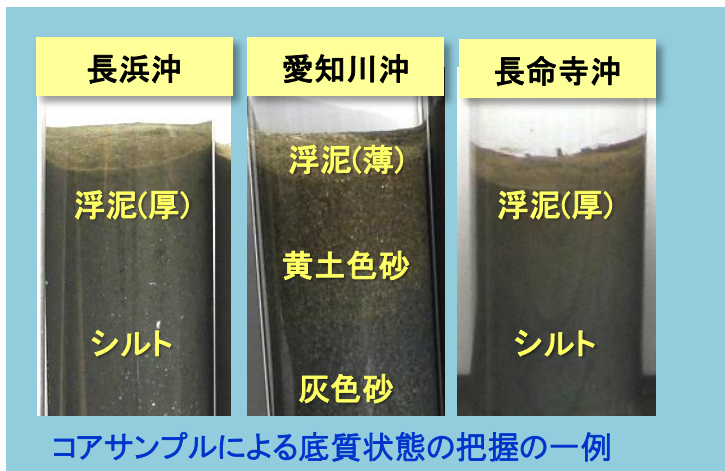
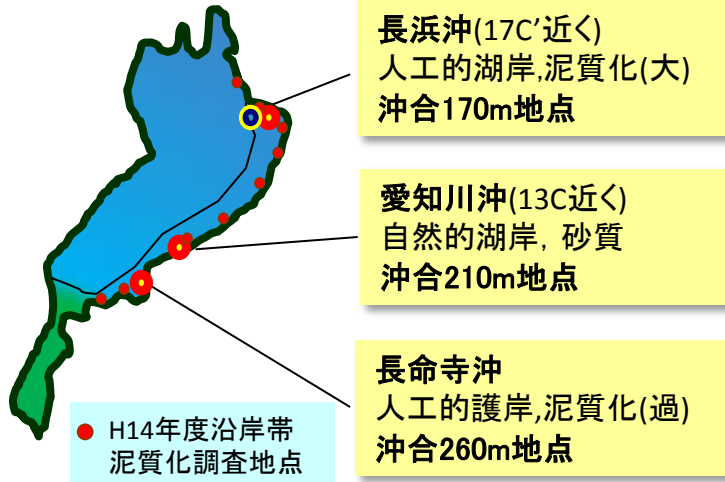
長期変動解析結果の一例



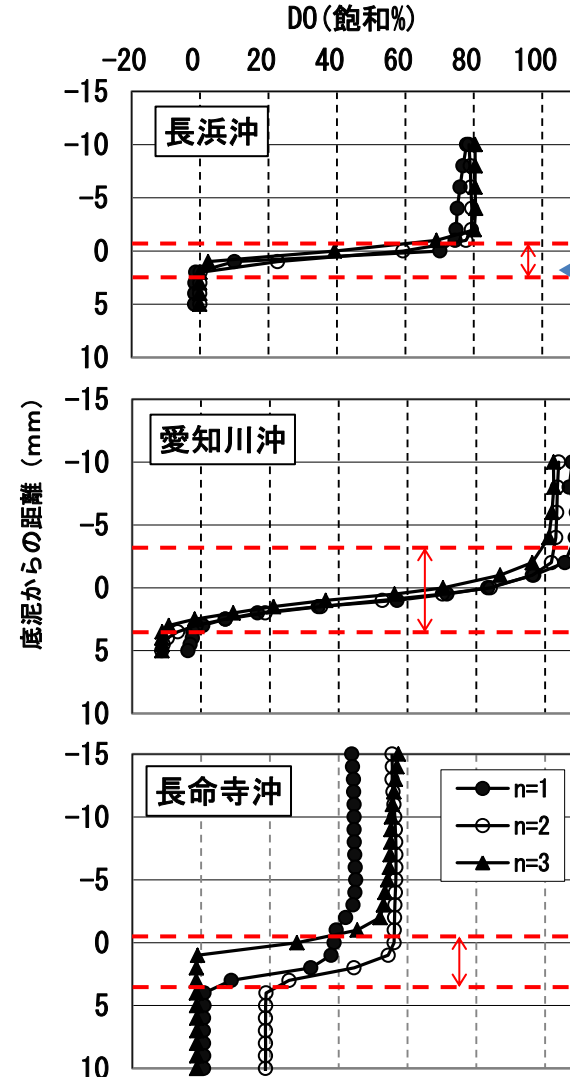
# 琵琶湖沿岸帯のシードバンク機能評価に関する研究

## サブテーマ4 調査地点と底泥直上・直下のDO分析結果の一例

底質状況の異なる3地点での調査



マイクロセンサーによる底泥直上直下の溶存酸素濃度測定



泥質化した底質は表面酸化層が約3mmと薄いことが明らかとなった。

\*この研究は2011~2013年度環境省環境研究総合推進費により実施した。

# 琵琶湖沿岸帯における底質分析

## サブテーマ4 沿岸域および沖帯の底質環境の分析結果の一例

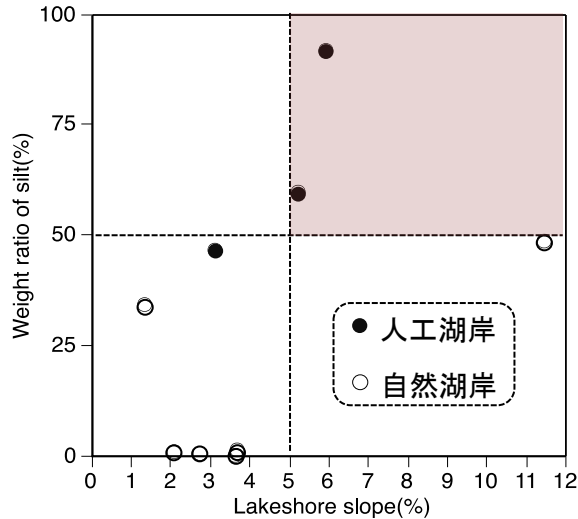
底質		愛知川沖	長命寺沖	長浜沖
分析項目	単位	2013/5/27	2013/5/27	2013/5/27
TOC (NC計)	%・dry	0.199	1.725	1.439
TN (NC計)	mg/kg・dry	340	1910	1650
T-P	mg/kg・dry	310	950	840
COD	mg/g・dry	3.03	19.1	23
IL	%・dry	3.2	6.9	6.1
ORP	mV	120	-11	-120
水分率	%	32.5	56.7	51.0
固形分率(100-水分率)	%	67.5	43.3	49.0
クロロフィルa (蛍光法)	μg/g			
T-Fe	mg/kg・dry	24300	45000	40200
T-Mn	mg/kg・dry	463	874	929

ORP値がマイナスとなり  
泥質化が進行している。

# 沖帯および沿岸帯の底質環境の分析と解析 護岸形態の分類と定義化（平成14年調査結果解析）

平成14年度 北湖東岸泥質化実態調査  
(滋賀県調査) データ解析結果

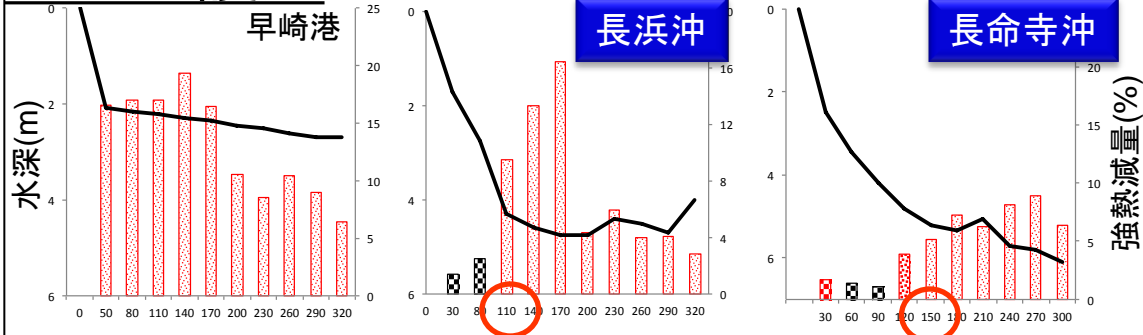
北湖東岸9側線で沖に向かって30mごとに10地点にサンプリング ⇒ 計90地点



## 成果

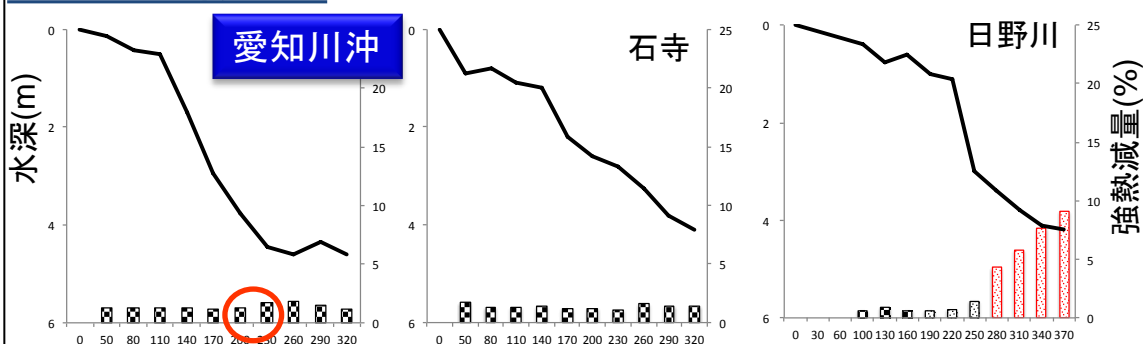
- ・湖岸勾配5%以上の地点に泥質地点が多い
- ・人工的護岸, 自然的護岸に拘らず勾配急変部(勾配変化量3%以上)があるとその地点から泥質化

## 人工的護岸



人工的護岸の3地点全てで勾配急変部でシルト分増加, 強熱減量増加, ORPマイナスに変化 ⇒ 水理状態が停滞的である

## 自然的護岸



人工的護岸と比較すると底質に変化なし!!  
⇒ 自然的な遠浅になっている地点はシルト分が少ない

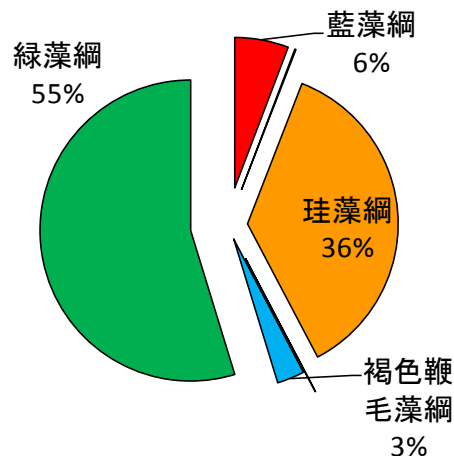
# プランクトン動態と沿岸帯評価の回帰実験の一例

## サブテーマ1

## 琵琶湖における底泥からの実験結果(植物プランクトン)

### 愛知川沖

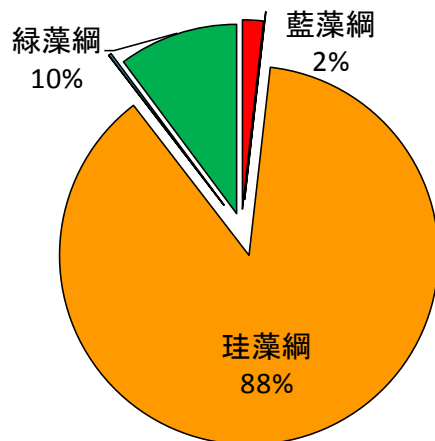
平均細胞数  
5,000cells/L



植物プランクトン 愛知 平均5,048細胞/L<sup>※</sup>  
(※: 藍藻は群体数/L)

### 長命寺沖

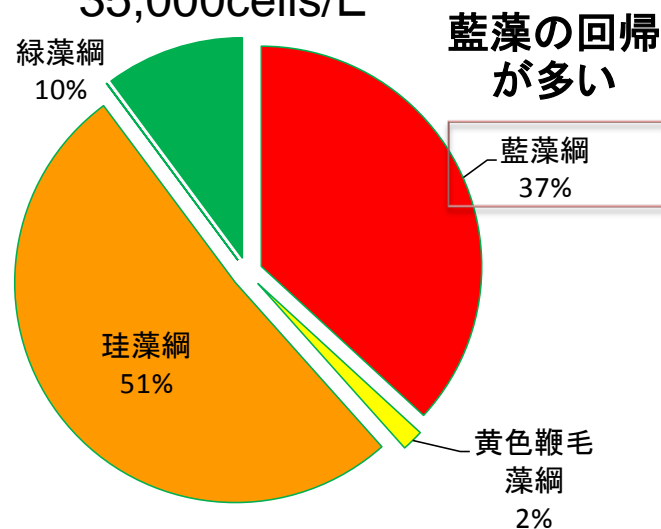
平均細胞数  
16,000cells/L



植物プランクトン 長命寺沖 平均16,219細胞/L<sup>※</sup>  
(※: 藍藻は群体数/L)

### 長浜沖

平均細胞数  
35,000cells/L



植物プランクトン 長浜沖 平均35,297細胞/L<sup>※</sup>  
(※: 藍藻は群体数/L)

培養条件: 整置培養: 温度 : 20°C、光: 60 μmol/m<sup>2</sup>/sec, 18L/6D : 攪拌 なし(静置)  
 サンプルング, データ取得: 毎週1回の頻度で60日間、各槽より1リットル静かに採取し、  
 グルタルアルデヒドで固定後、プランクトンネットでろ過濃縮(20μm)。  
 全動物・植物プランクトンの同定と計数を実施。

# 琵琶湖沿岸帯のシードバンク機能評価に関する研究

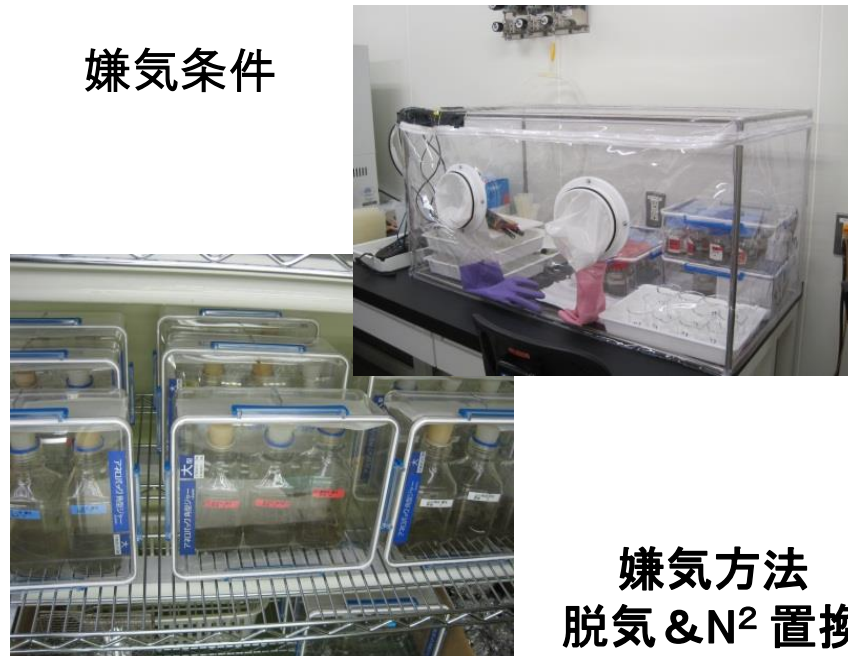
サブテーマ2

「シードバンクとは」=「植物プランクトンや藻類の種の保存庫・供給源」

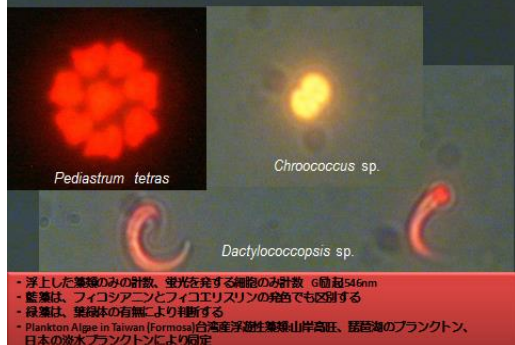
好気条件



嫌気条件



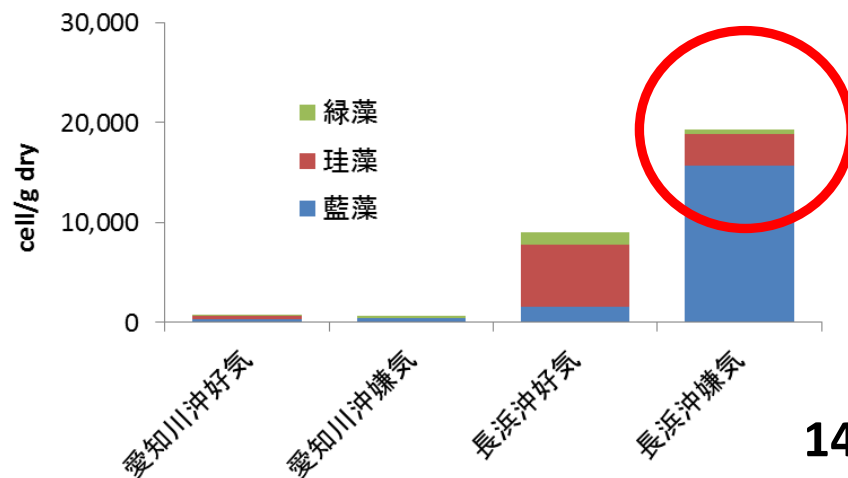
蛍光顕微鏡による藻類シード観察方法



嫌気方法  
脱気 & N<sub>2</sub> 置換

底泥を用いた藻類シード  
回帰試験結果事例

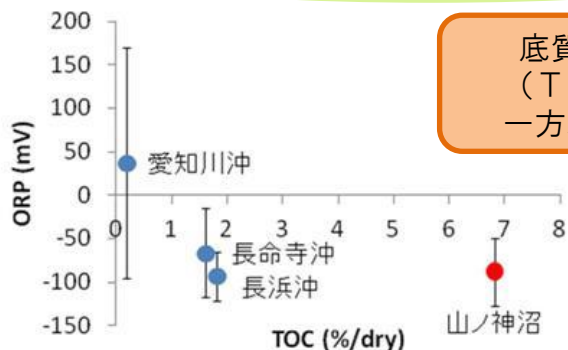
嫌気条件で藍藻の  
回帰細胞数が多い



# 浅い富栄養化池沼(山ノ神沼)の好気、嫌気条件におけるシードバンク機能評価に関する研究

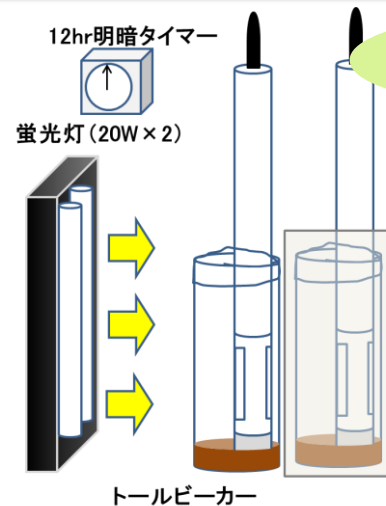
## サブテーマ3

琵琶湖沿岸帯及び山ノ神沼の底質におけるORP及びTOCの比較

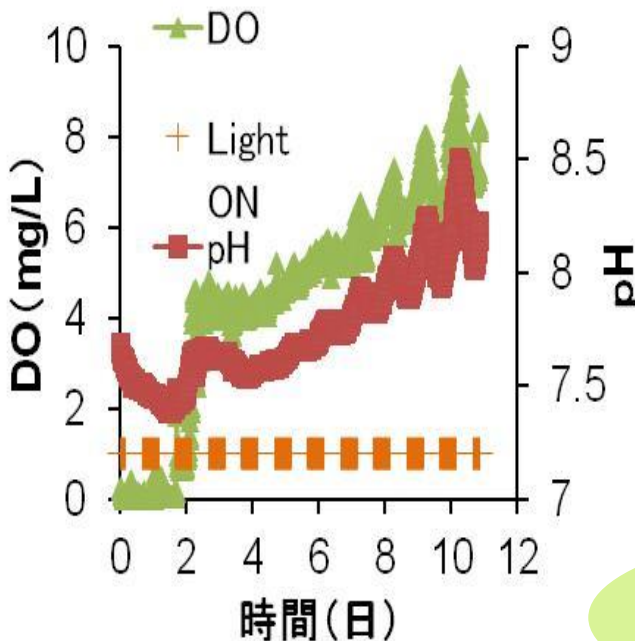


底質は過度に有機化 (TOCで3倍以上) 一方、ORPは同程度

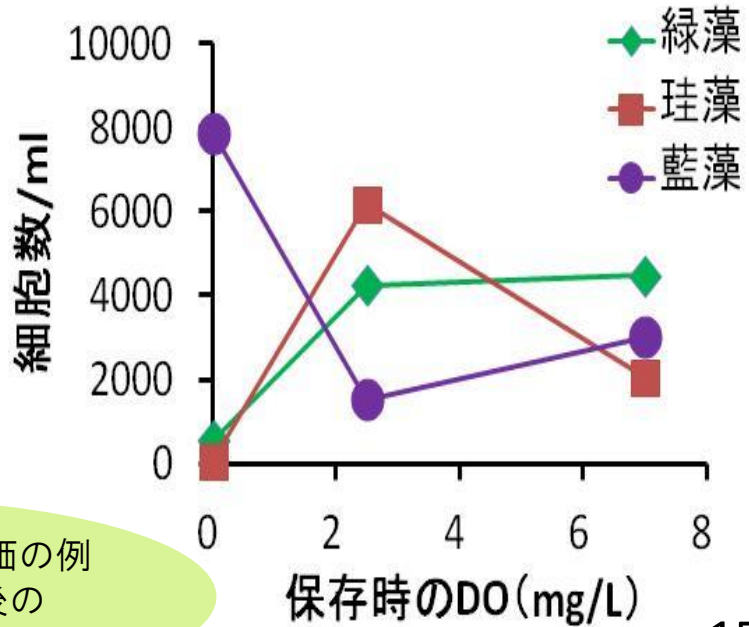
藻類シードバンク機能評価方法の構築



藻類の光合成活性を指標とした評価方法を確立



照明ONのとき藻類の光合成によりDO、pHが上昇 (図左) 保存時のDO 0mg/Lでは藍藻が優占 (図右)



シードバンク機能評価の例 100日間4℃, 保存後の山ノ神沼底質

# 琵琶湖沿岸帯のシードバンク機能評価に関する研究

## サブテーマ5 水塊に回帰してきたプランクトンの増殖, 生産とそれに伴う水質影響評価

### 増殖生理特性

表. 各藻類の生理特性

最大比増殖速度 $\mu_{max}$	珪藻~藍藻>緑藻
至適水温 $T_{opt}$	緑藻~藍藻>珪藻
栄養塩濃度 $K_N$ or $K_P$	明確な傾向なし
増殖下限温度	藍藻が有意に高い

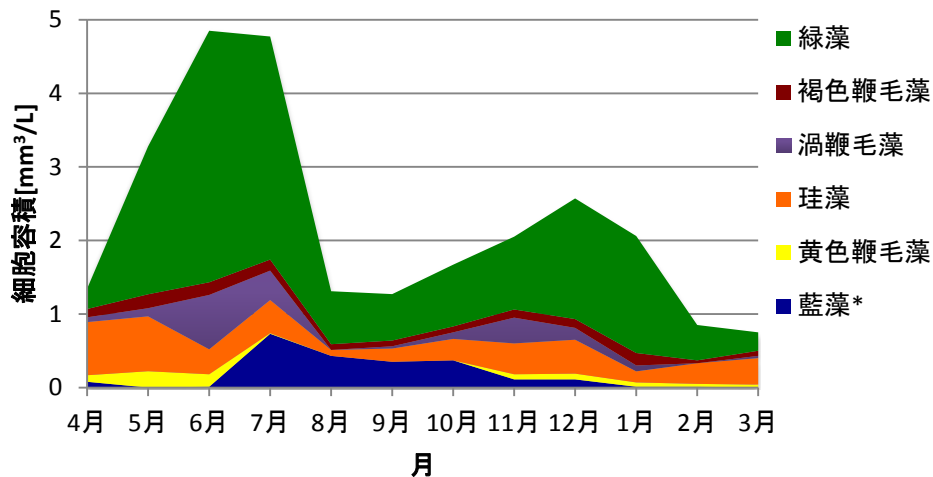
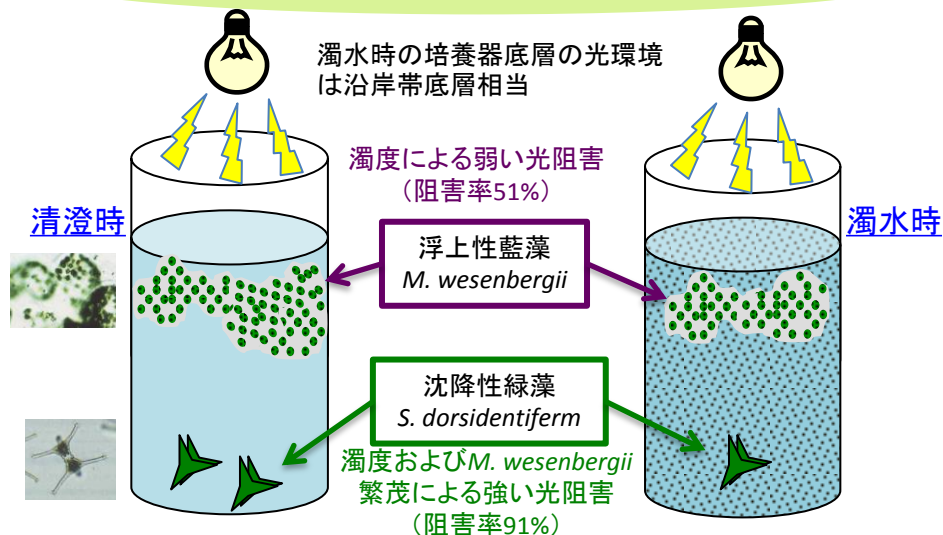


図. 2005-2009年度平均植物プランクトン細胞容積経月変化(17C'長浜沖)

4~5月: 低温に適した珪藻の繁茂  
 5~7月: 水温上昇とともに高温に適した緑藻の優占  
 7~10月: 更なる温度上昇とともに藍藻が出現

### 種選択に及ぼす濁りの影響



沈降性植物プランクトンは濁りにより増殖阻害を受けやすい

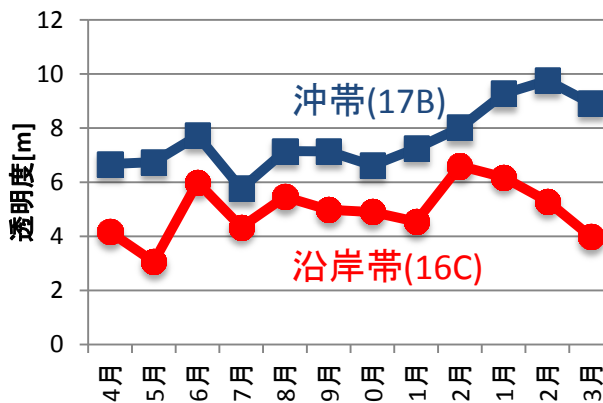


図. 2005-2009年度平均月別透明度

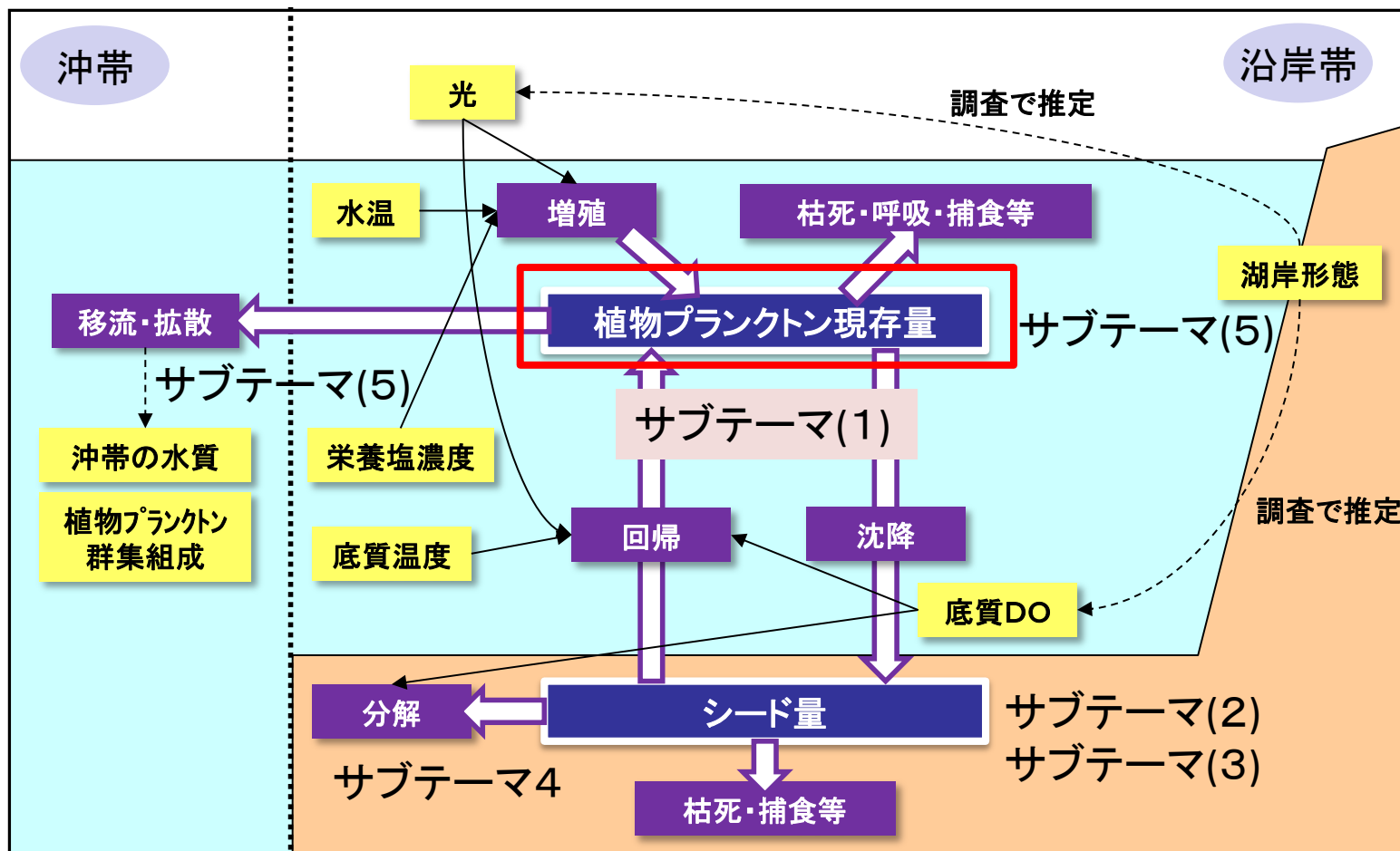
沿岸帯の低い透明度(高い濁度)により浮上性ラン藻の優占化が促進



# 沿岸帯の評価を行うため、底質環境が湖沼水質やプランクトン群集構造に与える影響評価

## サブテーマ6

## 沿岸帯を対象としたボックスモデル



凡例:

ストック

フロー

影響因子

# 総合解析(沿岸帯を対象としたボックスモデルの収支式)

## サブテーマ6

### 植物プランクトン現存量に関する収支式

$$\frac{d(\text{植プラ現存量})}{dt} = \text{回帰率} \times \text{シード量} + (\text{増殖} - \text{沈降} - \text{枯死} \cdot \text{呼吸} \cdot \text{捕食}) \times \text{植プラ現存量} - \text{移流} \cdot \text{拡散}$$

$$\text{回帰率} = \text{最大回帰率} \cdot f_1(\text{光}) \cdot f_2(\text{底質温度}) \cdot f_3(\text{底質DO}) \cdot f_4(\text{保存DO}) \cdot f_5(\text{採泥時期}) \cdot \alpha$$

$$\text{増殖} = \mu_{\max} \cdot g_1(\text{水温}) \cdot g_2(\text{栄養塩濃度}) \cdot \beta$$

$$\text{沈降} = \text{沈降速度} / \text{水深}$$

$$\text{枯死} \cdot \text{呼吸} \cdot \text{捕食} = k_1$$

$$\text{移流} \cdot \text{拡散} = AD \cdot \text{植プラ現存量}$$

サブテーマ5  
の調査・整理  
結果を活用

サブテーマ2の実験より各環境  
因子と回帰量の関係を求める

サブテーマ4で実施した  
現地調査結果を活用

### シード量に関する収支式

$$\frac{d(\text{シード量})}{dt} = \text{沈降量} - (\text{分解} + \text{枯死} \cdot \text{呼吸} \cdot \text{捕食}) \times \text{シード量} - \text{回帰量}$$

$$\text{沈降量} = \text{沈降速度} / \text{水深} \times \text{植プラ現存量}$$

$$\text{分解} = h(\text{底質DO})$$

$$\text{枯死} \cdot \text{呼吸} \cdot \text{捕食} = k_2$$

サブテーマ2の実験より各環境  
因子とシード量の関係を求める

# 自然的湖岸化を想定した感度解析

長浜沖（人工的湖岸）を対象として、もし自然的湖岸への転換を行ったら、植物プランクトンの現存量がどのように変化するかを感度解析

## 現況再現



シナリオ1:

光条件の変化

光「-」→「+」

シナリオ2:

底層DOの改善

底層DO「嫌気」→「好気」

シナリオ3:

湖流の変化

移流拡散に係る係数 2倍

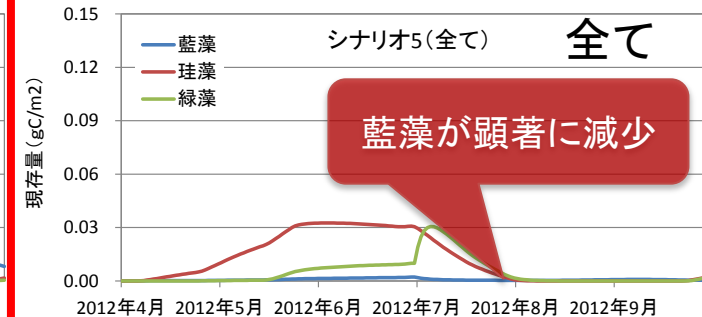
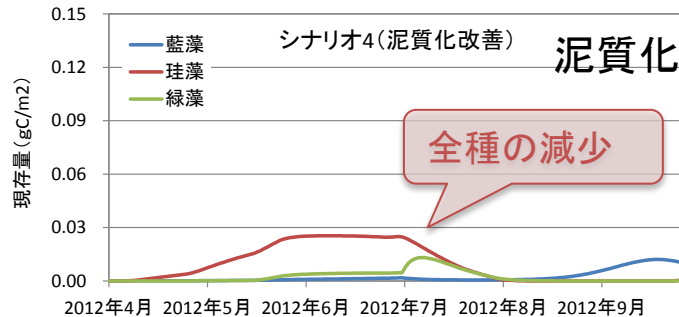
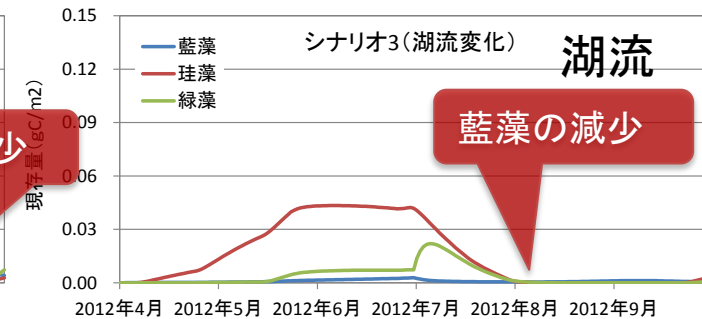
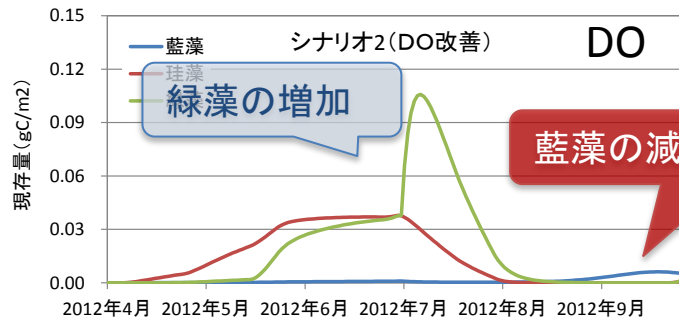
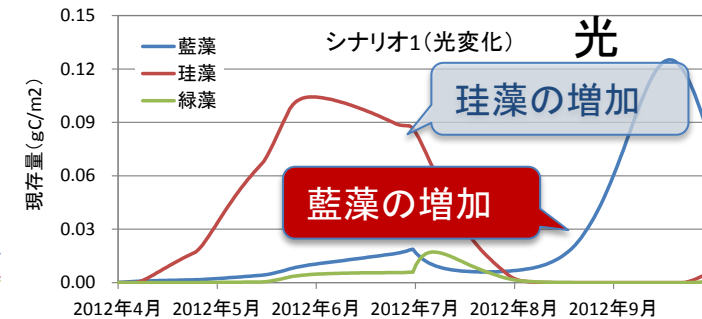
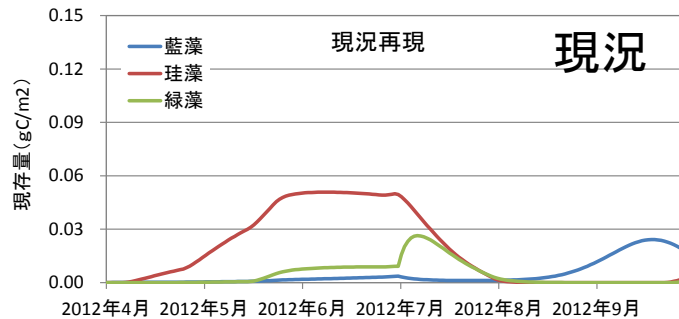
シナリオ4:

泥質化の改善

シード量初期値半減

シナリオ5:

上記全て



# 本研究の成果

- 沿岸帯底泥を用いた藻類回帰実験の結果、2年間保存した底泥からも藻類回帰が認められ、シードバンクとして機能していることを明らかにした。
- 藍藻は嫌気条件において水塊に回帰しやすいことを明らかにした。
- 泥質化した底泥は表面酸化層が薄く、嫌気化しやすいことを明らかとなった。
- 湖岸勾配5%以上、勾配変化量3%以上の勾配急変部において泥質化が進行しやすいことを明らかにした。
- 沿岸帯は透明度が低いため、光制限により浮上性藍藻の優占化が進行しやすいことを明らかにした。
- モデル計算の結果、底質D0の改善、泥質化の改善、水交換率の増大により藍藻現存量を抑制できる可能性が示唆された。



自然的護岸 愛知川湖岸側線



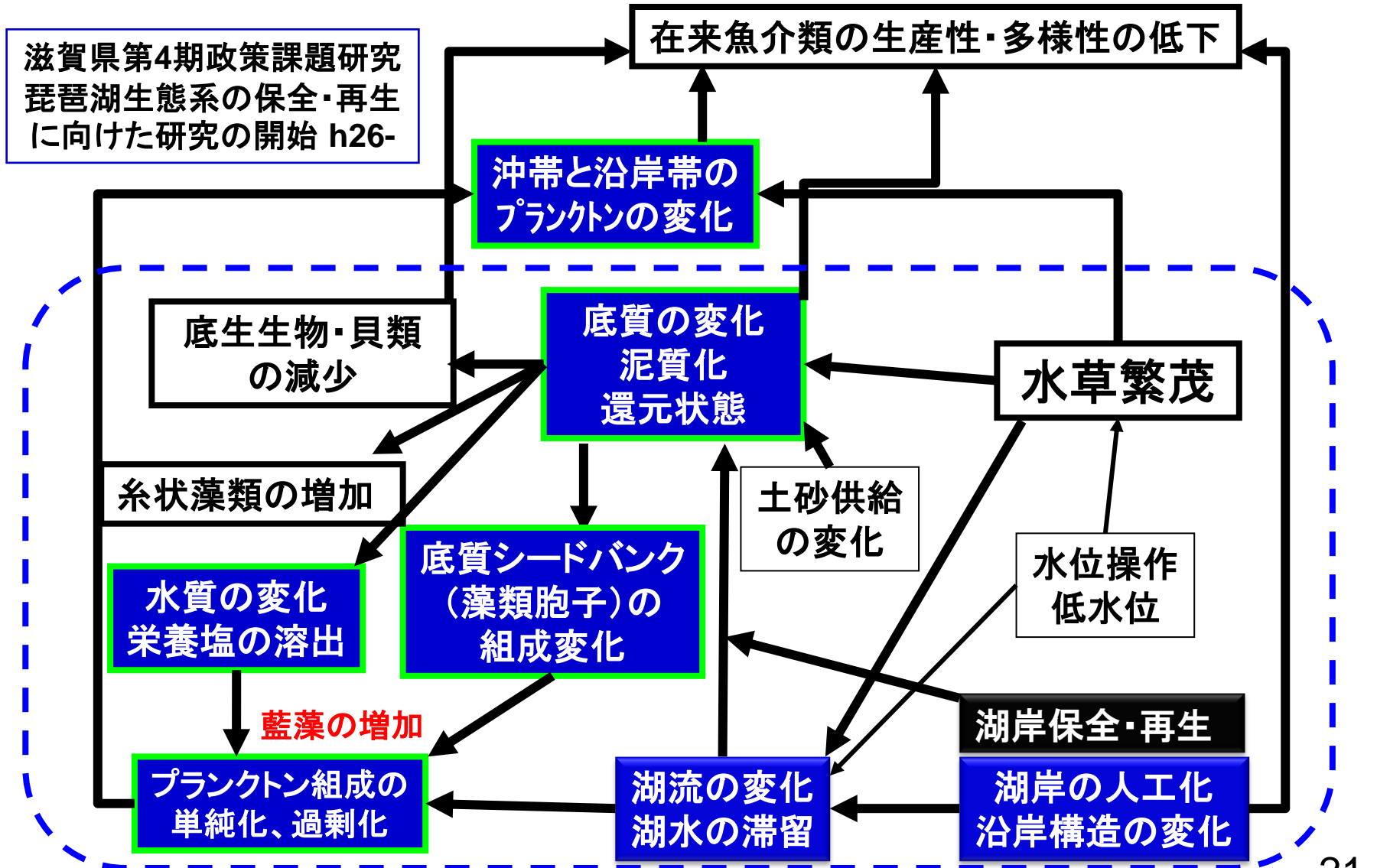
人工的護岸 長浜湖岸側線

# 本研究成果の滋賀県環境行政への展開

## 琵琶湖底質・沿岸帯機能の劣化

環境研究  
総合推進費

滋賀県  
政策課題研究



# 人工湖岸域の例



石積み護岸の先は急激に深くなる  
→ 湖流の停滞、泥質化、貧酸素

# 自然湖岸域の例

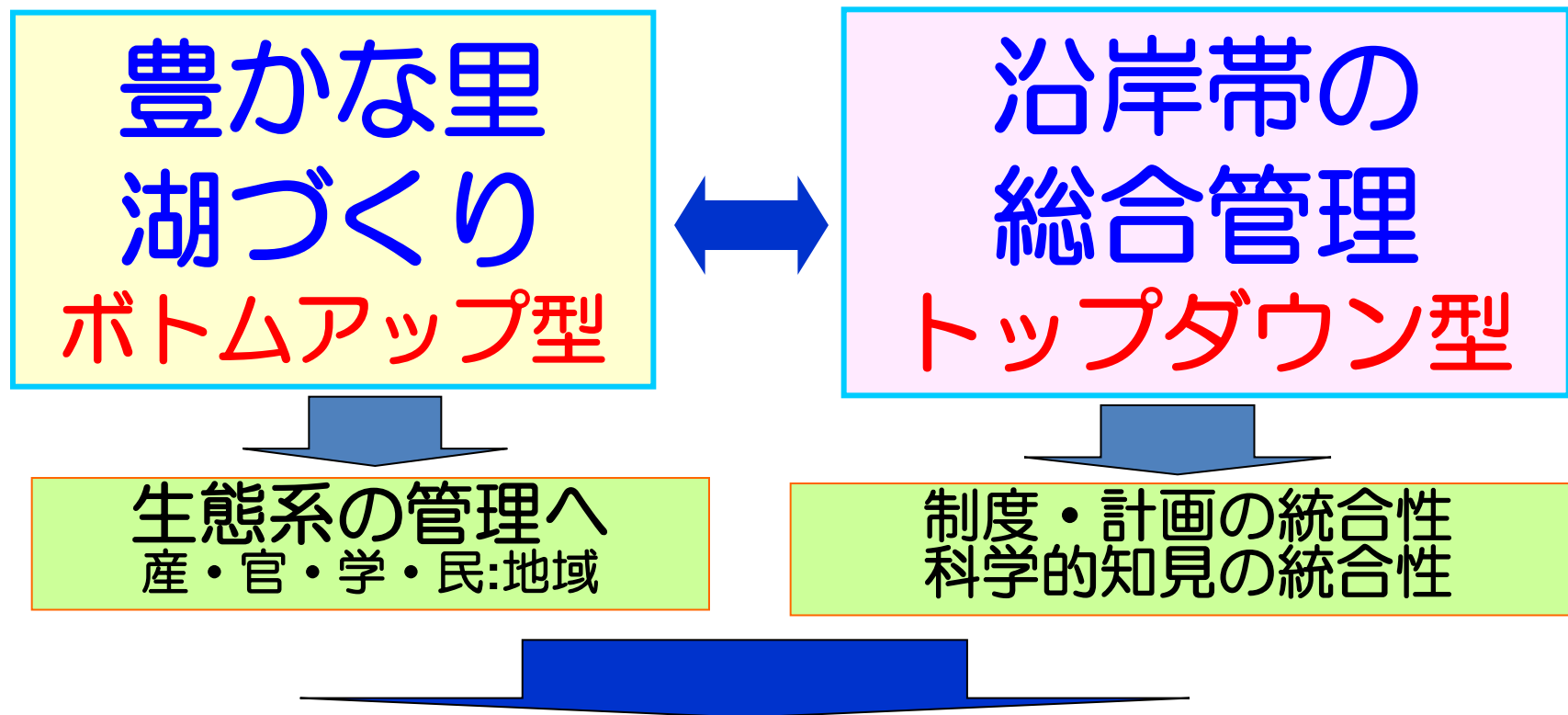


遠浅の砂地

→ 二枚貝類の生息を確認

# 琵琶湖沿岸環境の再生と機能回復の推進

## 里湖岸づくりの総合管理

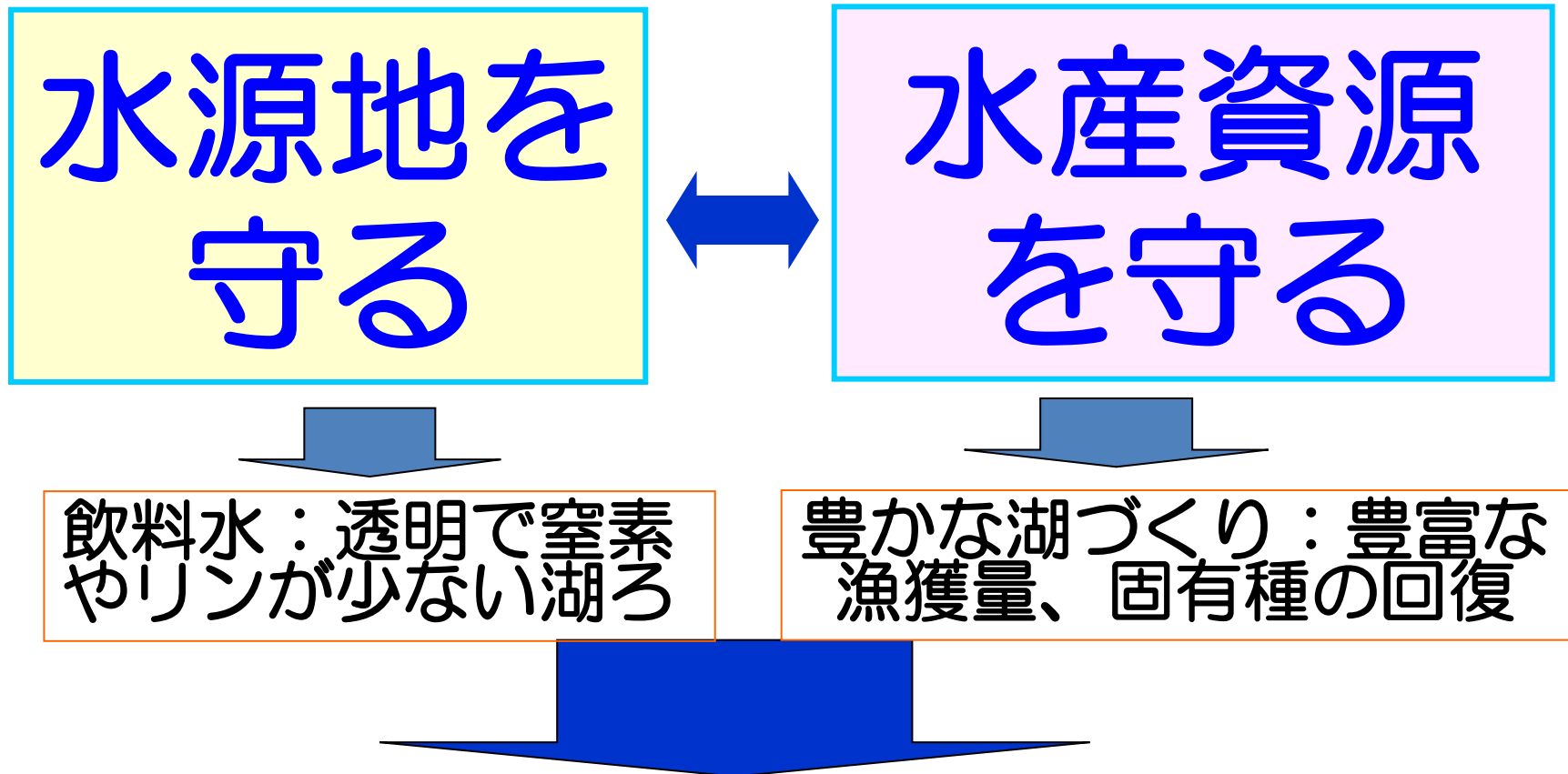


琵琶湖沿岸環境の再生と機能回復  
全国の活動とつながった里湖岸再生の取り組み



# 琵琶湖水質保全の今後の課題

暮らしと湖の関わりを再生していくために



# 研究成果

## 【5B-1102 湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価】

- ◎琵琶湖の水環境の現状と沿岸帯の機能評価  
に向けて  
用水と廃水, vol. 55, No. 4号,  
p. 300-307 (2013)
- ◎琵琶湖に棲息する植物プランクトンの総細胞  
容積および粘質鞘容積の長期変動解析  
日本水処理生物学会誌  
vol.49, No.2 ,p. 65-74(2013)
- Analysis of long-term variation in  
phytoplankton biovolume in the northern  
basin of Lake Biwa  
Limnology, vol. 14,  
No. 1, p. 117-128 (2013)  
(プランクトン体積の長期変動解析と小型化)
- Influence of cultural conditions on the cellular  
biovolume and gelatinous sheath volume of  
*Staurastrum arctiscon* (Charophyceae)  
Journal of Water and  
Environment Technology,  
vol. 11, No. 1, p. 49-58(2013)  
(スタウラストルムの粘質鞘体積)
- 琵琶湖北湖における大型緑藻(車軸藻綱)  
*Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum*の  
消長と増殖生理特性  
日本水環境学会誌, vol. 35,  
No. 11, p. 181-186 (2012)

注: 口頭による学会発表は15題 全国環境研発表会を含め20題

『陸水学会課題講演3』

日時：2013年9月12日(木)9:30~12:00  
場所：日本陸水学会(滋賀大会, 龍谷大学)

# 湖沼生態系に及ぼす沿岸帯の機能評価



- 2KA01 一瀬 諭
- 2KA02 奥村浩気
- 2KA03 馬場大哉
- 2KA04 竹本邦子
- 2KA05 古田世子
- 2KA06 田中仁志
- 2KA07 西村 修

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター環境監視部門 一瀬 諭,  
龍谷大学大学院工学部 環境ソリューション学科 奥村浩気



## 謝 辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費  
平成23年～25年度

## 「湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその 影響因子の評価」

の中で実施しました。  
ここに記して敬意を表します。

ご清聴ありがとうございました。

END