

ケイ素安定同位体比を用いた琵琶湖集水域の土地利用変化が淀川流域ケイ酸動態へ及ぼす影響評価と将来予測

板井 啓明

東京大学大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻

専門と研究歴

学歴

2004.3. 大阪市立大学理学部地球学科

2006.3. 岡山大学大学院自然科学研究科

2009.3. 広島大学大学院理学研究科・地球惑星システム学専攻



2026.3.11 はす号

職歴

2009.4. -2016.7. 愛媛大学沿岸環境科学研究センター・助教

2014.6. -2016.5. フランス国立科学研究センター・客員研究員

2016.8. -2017.8. 環境省・国立水俣病総合研究センター・主任研究員

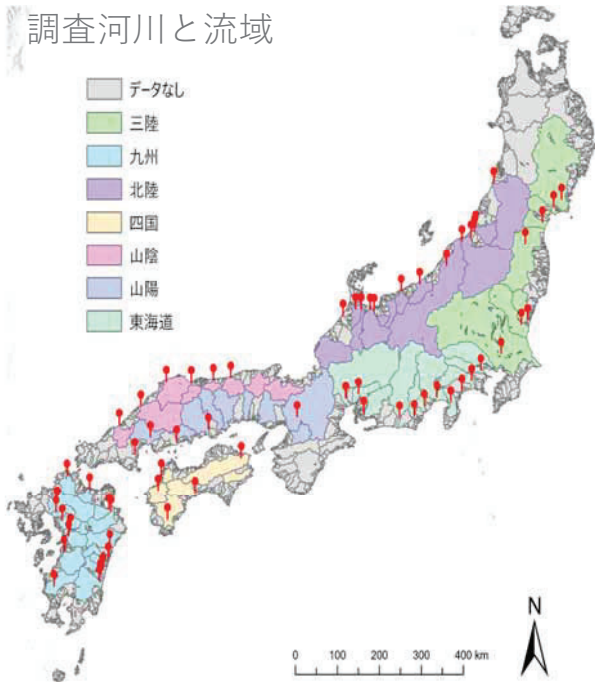
2017.9. -現在 東京大学大学院理学系研究科・地球惑星科学専攻・准教授

2009-2014
琵琶湖研究

Keywords : 地球化学・微量元素・ヒ素・水銀・生物濃縮・(重元素)安定同位体比
学会 : 日本地球化学会、日本陸水学会、日本環境化学会

2020年以降に調査した河川・湖沼

調査河川と流域



26天然湖沼, 5人工湖沼, 80河川

福島県

猪苗代湖・桧原湖・小野川湖・秋元湖

長野県

木崎湖・中綱湖・青木湖・野尻湖・諏訪湖

群馬県

菅沼・丸沼・赤城大沼・榛名湖

茨城県

霞ヶ浦(西浦・外浪逆浦), 漣沼, 牛久沼, 手賀沼

山梨県

芦ノ湖・山中湖・河口湖・西湖・精進湖・本栖湖

その他

水月湖(福井), 琵琶湖, 鰻池(鹿児島)

※ 太字は深度別調査実施

青字は複数季節で調査

琵琶湖-淀川流域におけるケイ酸循環研究の重要性

ケイ酸研究の背景

- ・ Siは第4の栄養塩 (珪藻に必須)
 - ・ 淀川は国内河川の中でもSi濃度が低値
 - ・ 淀川の大阪湾への流入寄与率は約88%
- ⇒ 淀川水系上流のケイ酸動態は大阪湾海洋生態系に影響
(Harashima et al. 2006他)

Land to Ocean Aquatic Continuum (LOAC)

ケイ酸除去過程の概念図

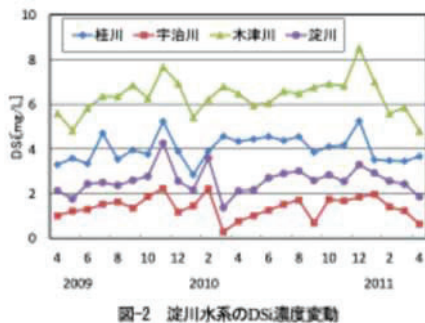
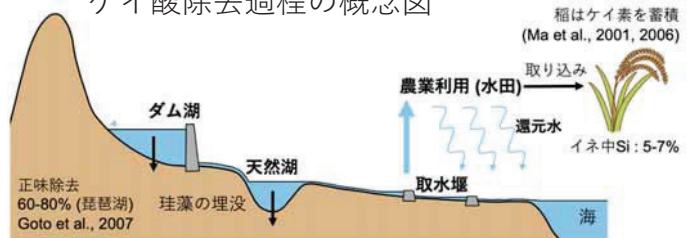
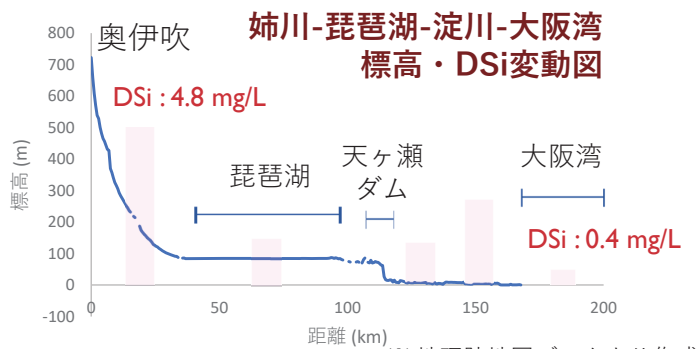


図-2 淀川水系のDSi濃度変動

西田・今岡 (2012)

宇治川はDSi低値
⇒琵琶湖の珪藻殻
沈降の影響



※ 地理院地図データより作成

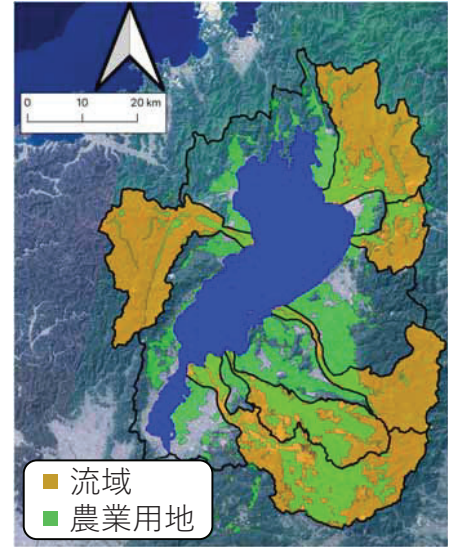
琵琶湖-淀川流域におけるケイ酸循環研究の重要性

流域のケイ酸動態に影響を与える過程

1. 岩石風化
 2. ケイ素資材の散布
 3. 停滞性水域における除去
 4. 水田による除去
- } 供給
- } 除去

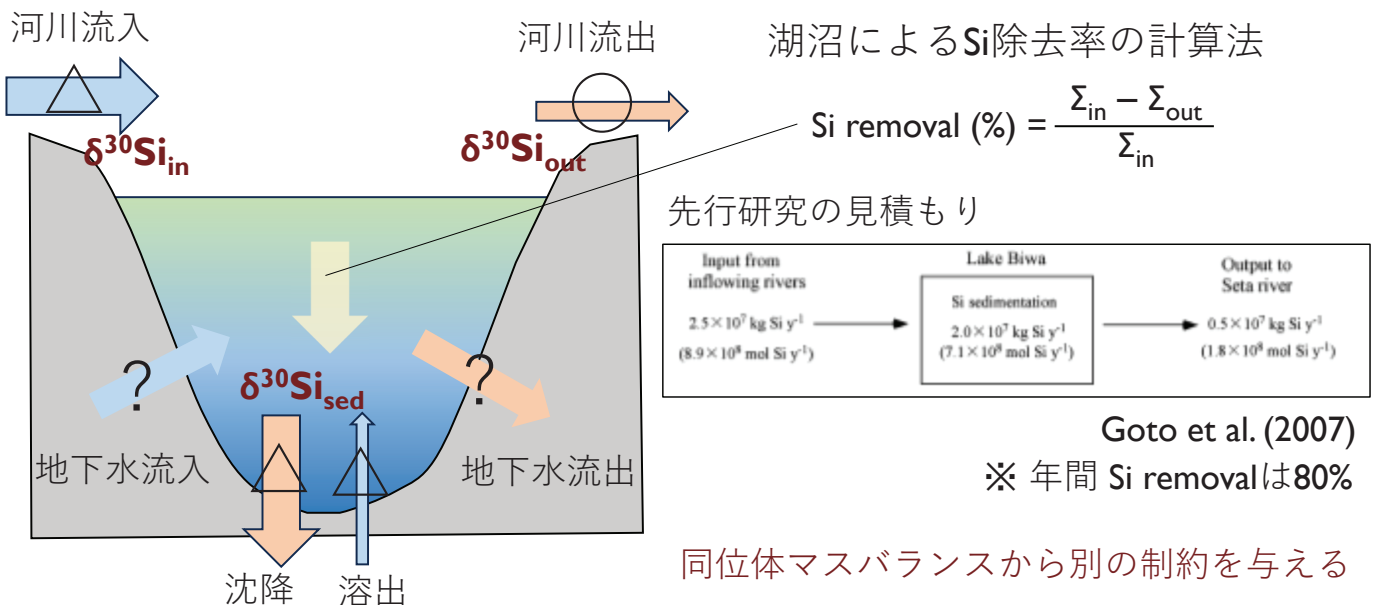
琵琶湖後背地に占める水田面積は約25%
小規模ダム湖は約0.5% (6 km²)

- 除去過程の評価は人間活動に依存
 ⇒ 土地利用変化とケイ酸動態の結合が重要
 ⇒ 堆積物コアを用いた研究が有効
 ⇒ 生物性Si (BSi) の増減：生産性と流入負荷の両方を反映
 ケイ素安定同位体比を用いてデータ解釈を制約可能？



同位体比を測る意義

なぜSi同位体比か？ Si濃度ではダメなのか？



研究目的とデザイン

● 目的：

1. 流入河川・湖水・プランクトンのケイ素安定同位体分析により、その変動要因を明確化する。
2. 琵琶湖・大阪湾のコア試料解析により過去のダム建設や水田など土地利用変化の影響を評価し、土地利用の変化に伴うケイ酸動態の将来予測を示す。

同位体比測定のもう一つの意義

● 一年目

流入・流出河川水・湖水の季節別調査

● 二年目

琵琶湖および大阪湾のコア試料、琵琶湖後背地のダムや水田の調査

ケイ素安定同位体地球化学の基礎

ケイ素の安定同位体

^{28}Si : 92.23%

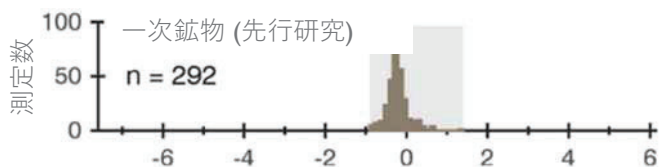
^{29}Si : 4.67%

^{30}Si : 3.10%

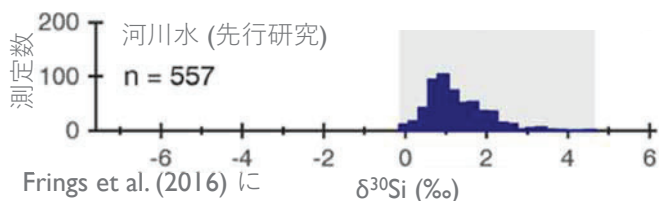
ケイ素安定同位体比の表記法

$$\delta^{30}\text{Si} = \left(\frac{\left(\frac{^{30}\text{Si}}{^{28}\text{Si}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{30}\text{Si}}{^{28}\text{Si}} \right)_{\text{reference}}} - 1 \right) \cdot 1000 (\text{‰})$$

河川水のケイ素安定同位体比変動



一次鉱物の $\delta^{30}\text{Si}$ は変動が小さい



河川水は供給源 (一次鉱物) より高値
→ 二次鉱物固定・植物吸収は ^{28}Si が優先
(e.g. Poitrasson, 2017 and references therein)

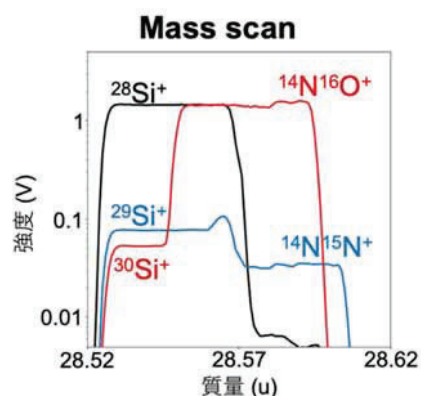
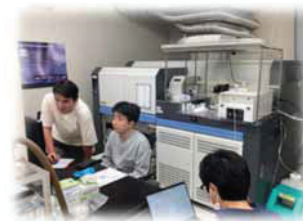
Frings et al. (2016) に
加筆

ケイ素安定同位体比の分析法

溶存ケイ酸濃度 (DSi)
ICP-AESで測定

ケイ素安定同位体比 ($\delta^{30}\text{Si}$)
陽イオンカラム分離 (Georg et al., 2006)

→ Mgを外部標準として添加、0.5% HNO_3 マトリクス、Si 5 mg/Lに調製
→ MC-ICP-MSで測定

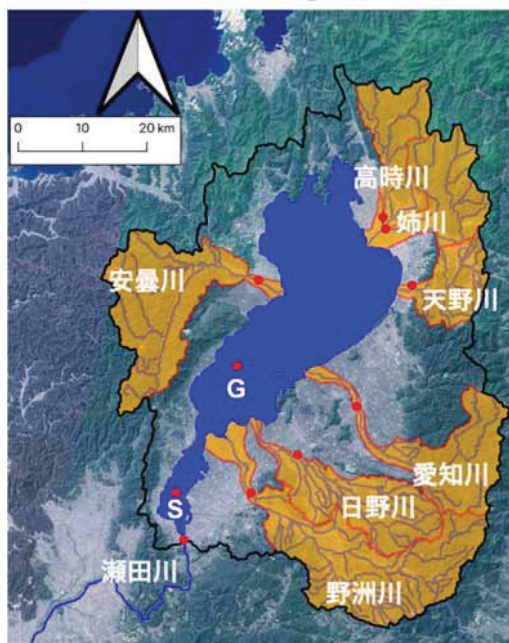


標準物質参考値と本研究の測定結果

CRM	参考値 ($\pm 2\text{SD}$)	測定結果 ($\pm 2\text{SD}$)
PS1772-8 (大西洋海底堆積物)	$1.29 \pm 0.11\text{‰}$ (Maier et al., 2013)	$1.37 \pm 0.07\text{‰}$
IRMM-018a (石英砂)	$-1.61 \pm 0.18\text{‰}$ (Reynolds et al., 2007)	$-1.46 \pm 0.08\text{‰}$

サンプリング

●: 調査地点



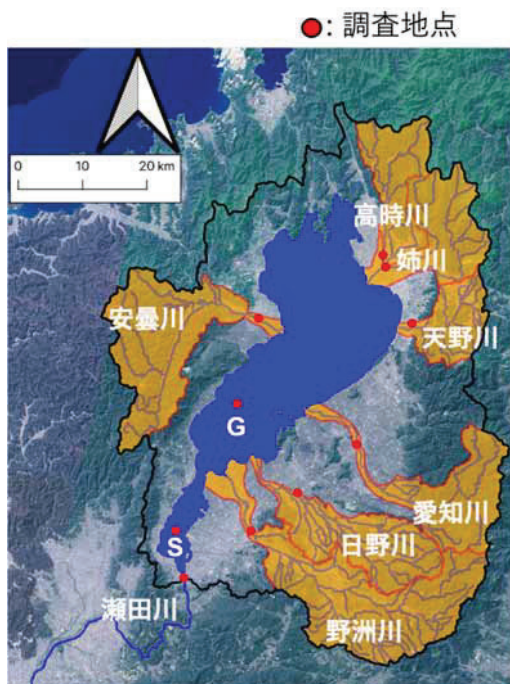
河川水

- ・ 2025年4, 7, 10月調査
流入河川: 7地点 (集水域の51%)
流出河川 (瀬田川) を採水

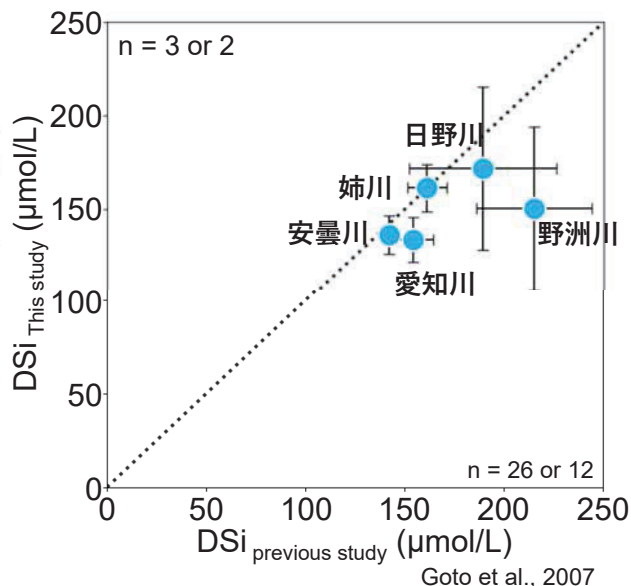
湖水

- ・ 2025年4, 8, 10, 11, 12月
2026年2, 3月
4, 8月は北湖G地点
10月以降は北湖G地点と南湖S地点
京大生態研・はす号を利用

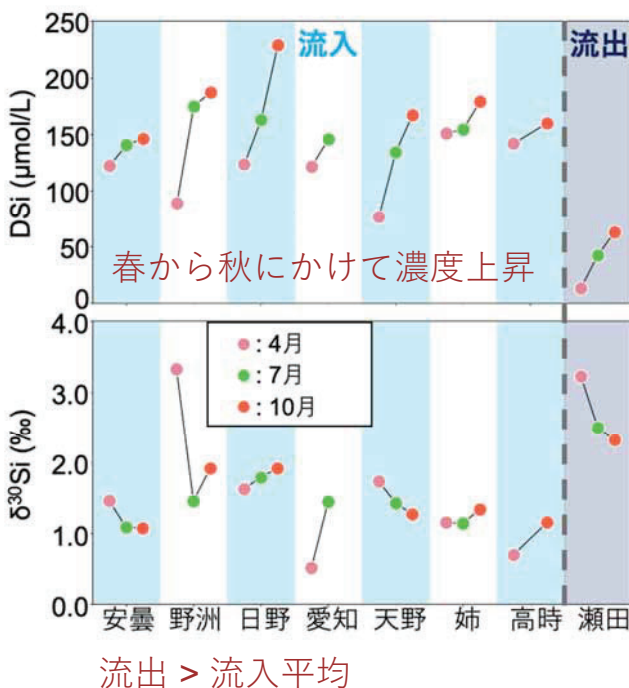
DSiの分析結果 (先行研究との比較)



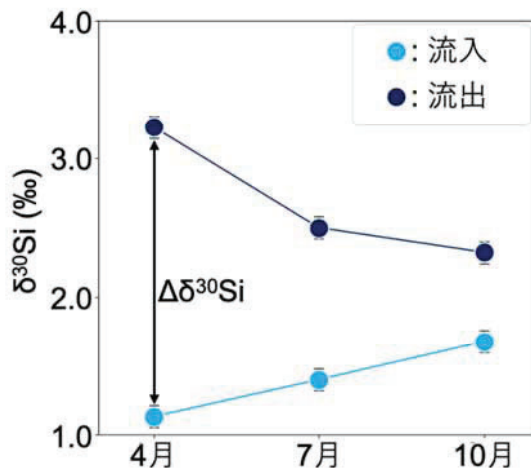
調査した7河川のうち5河川におけるDSiの先行研究との比較 (4, 7, 10月)



流入・流出河川のDSiと $\delta^{30}\text{Si}$

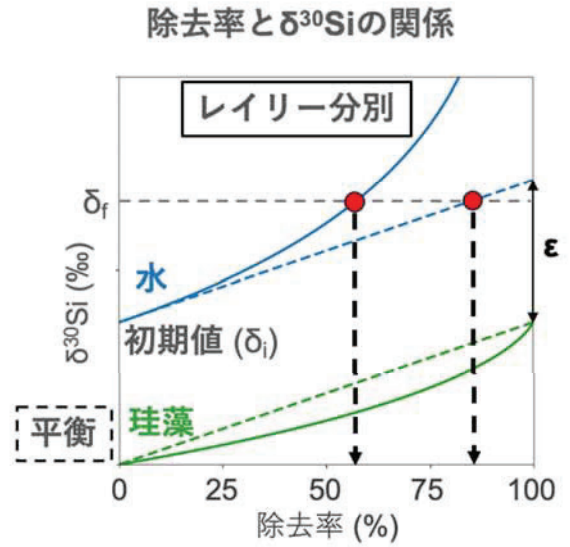
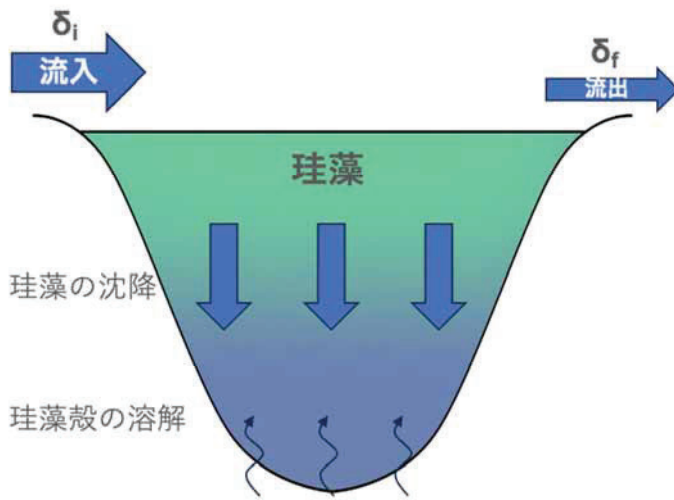


琵琶湖流入・流出 $\delta^{30}\text{Si}$ 季節変化



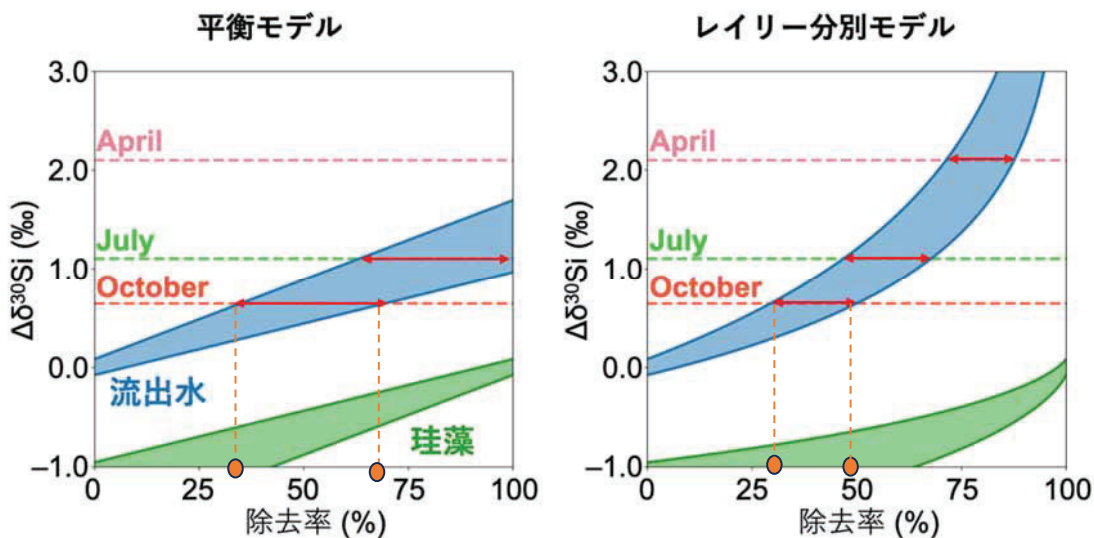
珪藻の増殖と沈降により湖水の $\delta^{30}\text{Si}$ が上昇し、流出河川に反映

同位体分別モデルによるDSi除去率の推定



天然湖における水-珪藻の同位体分別係数 (ϵ) : $-1.61 \sim -1.04\%$ 。
 (Panizzo et al., 2016; Alleman et al., 2005; Opfergelt et al., 2011)

レイリーモデルによる季節別Si除去率推定

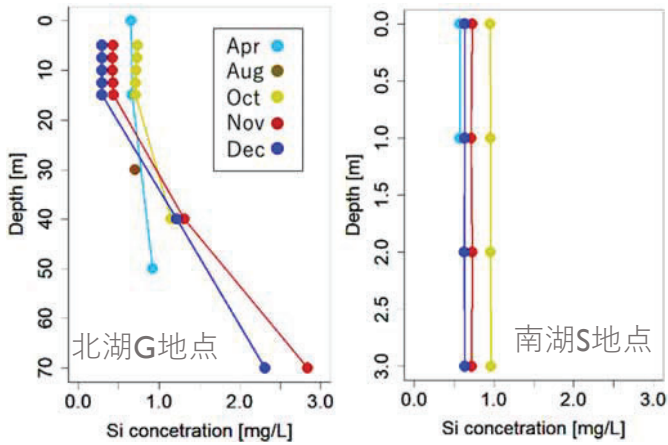


珪藻増殖と沈降による表水層からのケイ酸除去率は、

平衡モデル	4月 : $> 100\%$, 7月 : $63-100\%$, 10月 : $35-70\%$
レイリー分別モデル	4月 : $71-88\%$, 7月 : $47-68\%$, 10月 : $30-50\%$

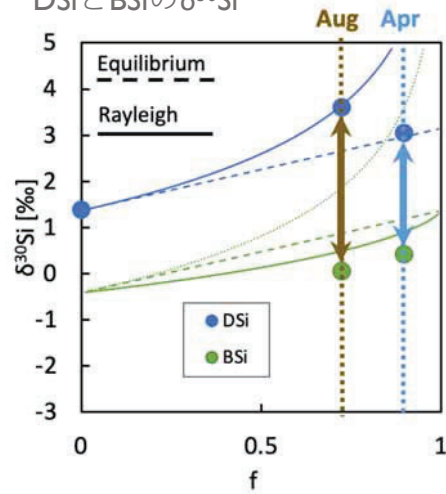
北湖・南湖のDSiおよび $\delta^{30}\text{Si}$ 変化

4-12月の北湖・南湖におけるDSiの深度分布



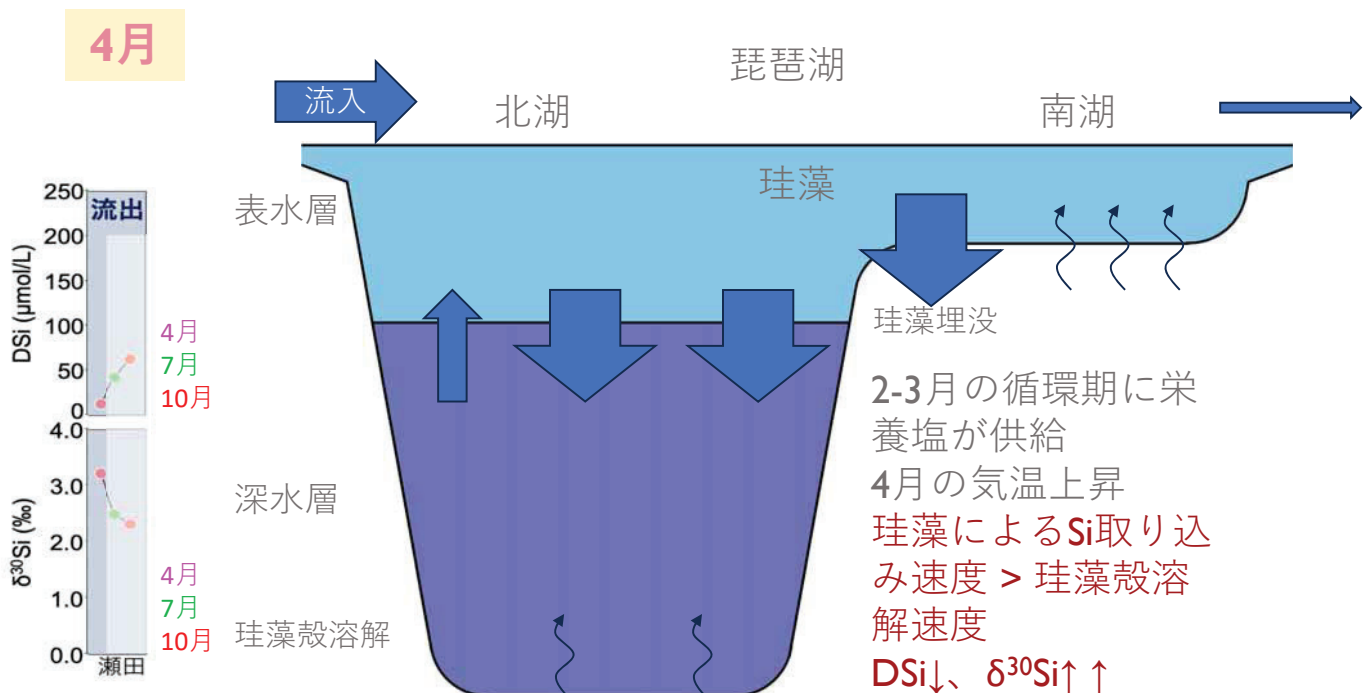
秋⇒冬：表水層のDSiが低下
 北湖のDSi ≤ 南湖DSi
 ⇒ 南湖は湖底からのBSi溶出が寄与？

4月と8月の北湖G地点におけるDSiとBSiの $\delta^{30}\text{Si}$



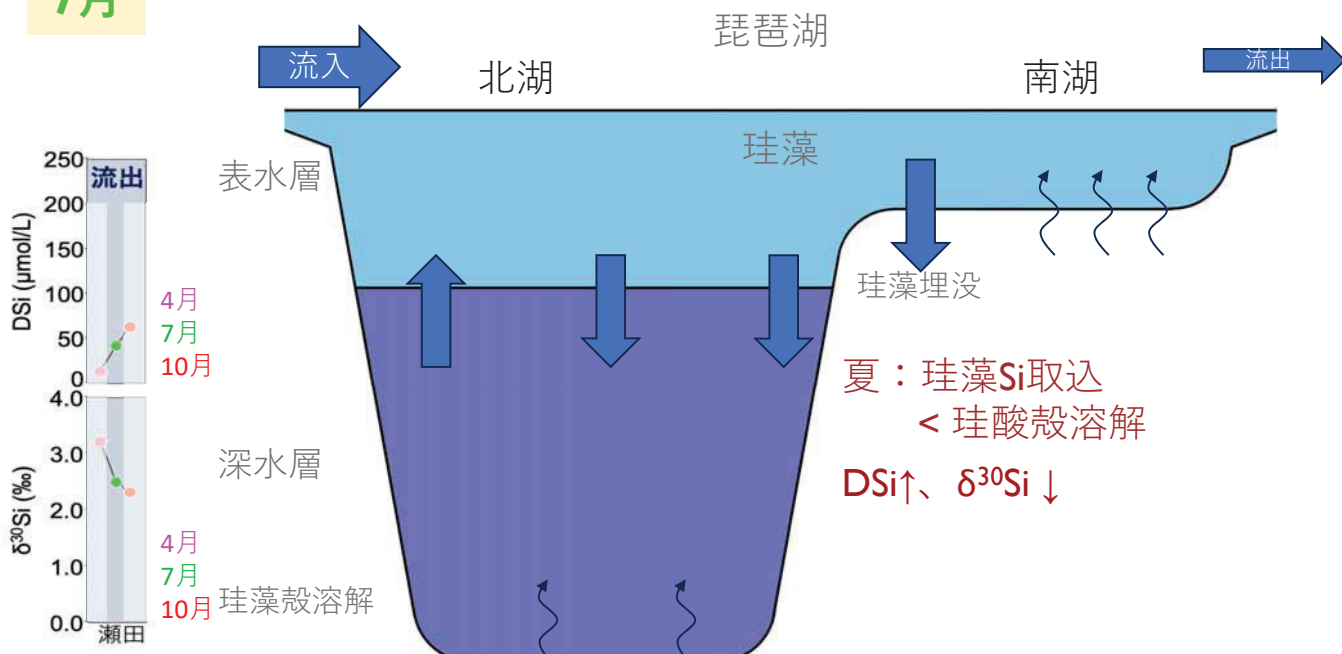
DSi, BSi間の見かけの同位体分別
 $\Delta\delta^{30}\text{Si} = 2.7 - 3.5\text{‰}$ 。(大きい)
 点数を増やしてモデルで説明が必要

湖沼内でのケイ酸循環概念図



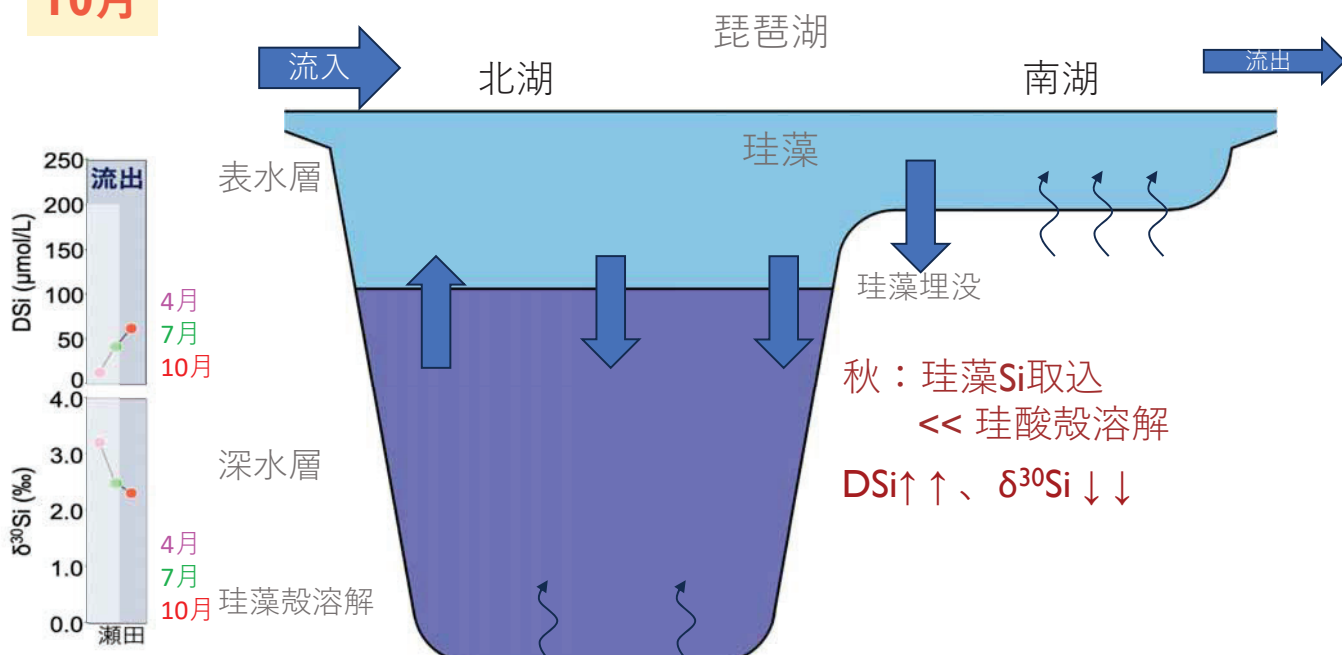
湖沼内でのケイ酸循環概念図

7月



湖沼内でのケイ酸循環概念図

10月



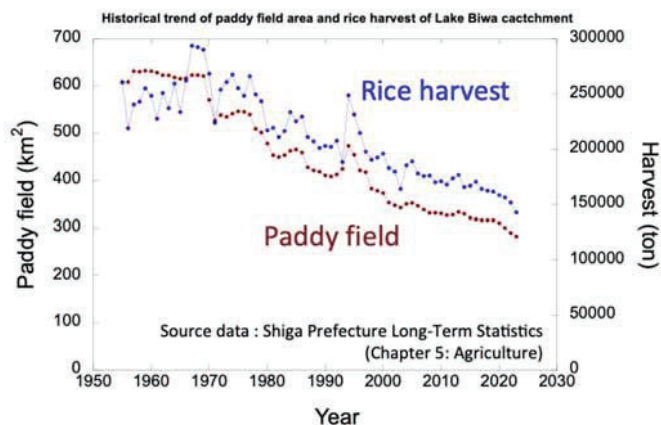
総括と今後の展望

初年度の研究により、

- ・ 湖水・浮遊性BSi・流入・流出河川間でのSi循環と安定同位体比の関係を解明
- ・ 今後の表層堆積物中BSiの測定により湖水 $\delta^{30}\text{Si}$ と堆積物 $\delta^{30}\text{Si}$ の関係を解明可能
- ・ 流入河川の $\delta^{30}\text{Si}$ が流域の土地利用 (とくに水田) を反映している可能性を示唆

今後の展望

- ・ 琵琶湖コア試料 (2013年、北湖23地点で採取)を用いた過去300年のケイ酸動態解析
- ・ 上流ダム湖のケイ酸流入への影響評価
- ・ 大阪湾へのSi流出変動に及ぼす琵琶湖の影響評価



過去の内湖干拓や減反政策のSi動態への影響をトレースできる可能性がある