

岩手県三陸海域研究論文知事表彰事業

# 三陸沿岸海域への栄養塩輸送経路としての 地下水湧出に関する研究

中島 壽視

(東京大学 大気海洋研究所)

共同研究者

杉本 亮・高尾祥丈・山田和正・楠 隆大(福井県立大学)

谷口真人(総合地球環境学研究所)

横山勝英(東京都立大学)

# 本研究の概要

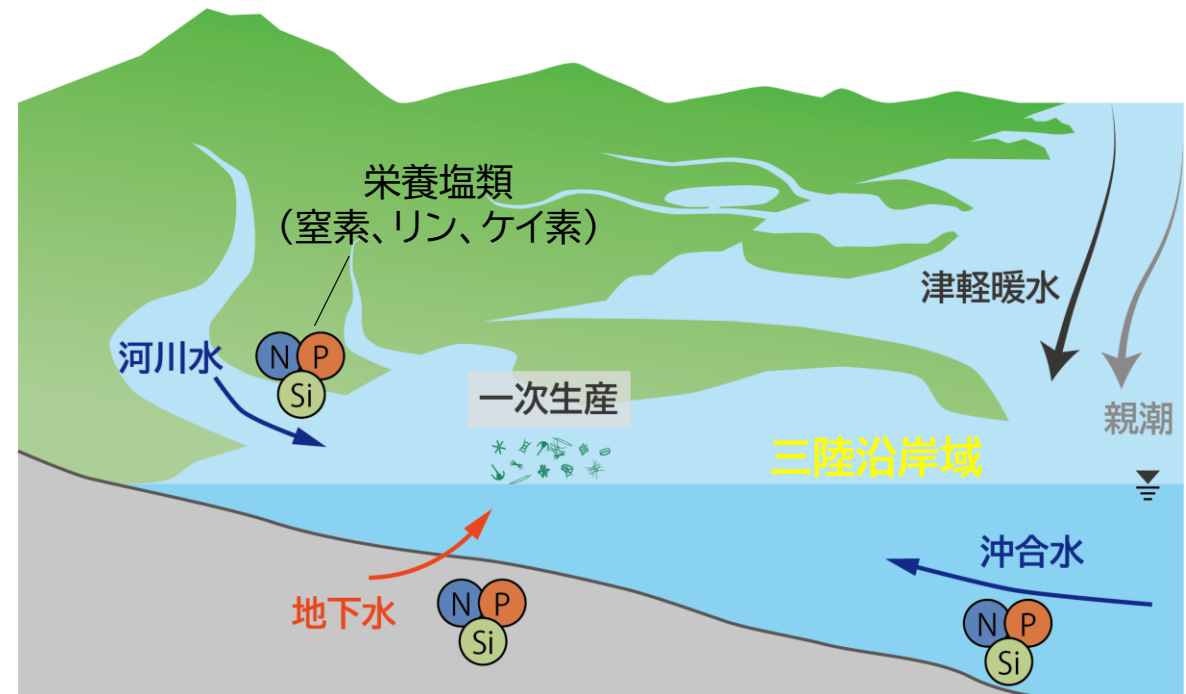
宮城県気仙沼湾の枝湾(舞根湾)を対象として、栄養塩供給経路としての地下水の生態学的な役割を評価

## 1. 地下水による栄養塩輸送量とその割合の定量評価

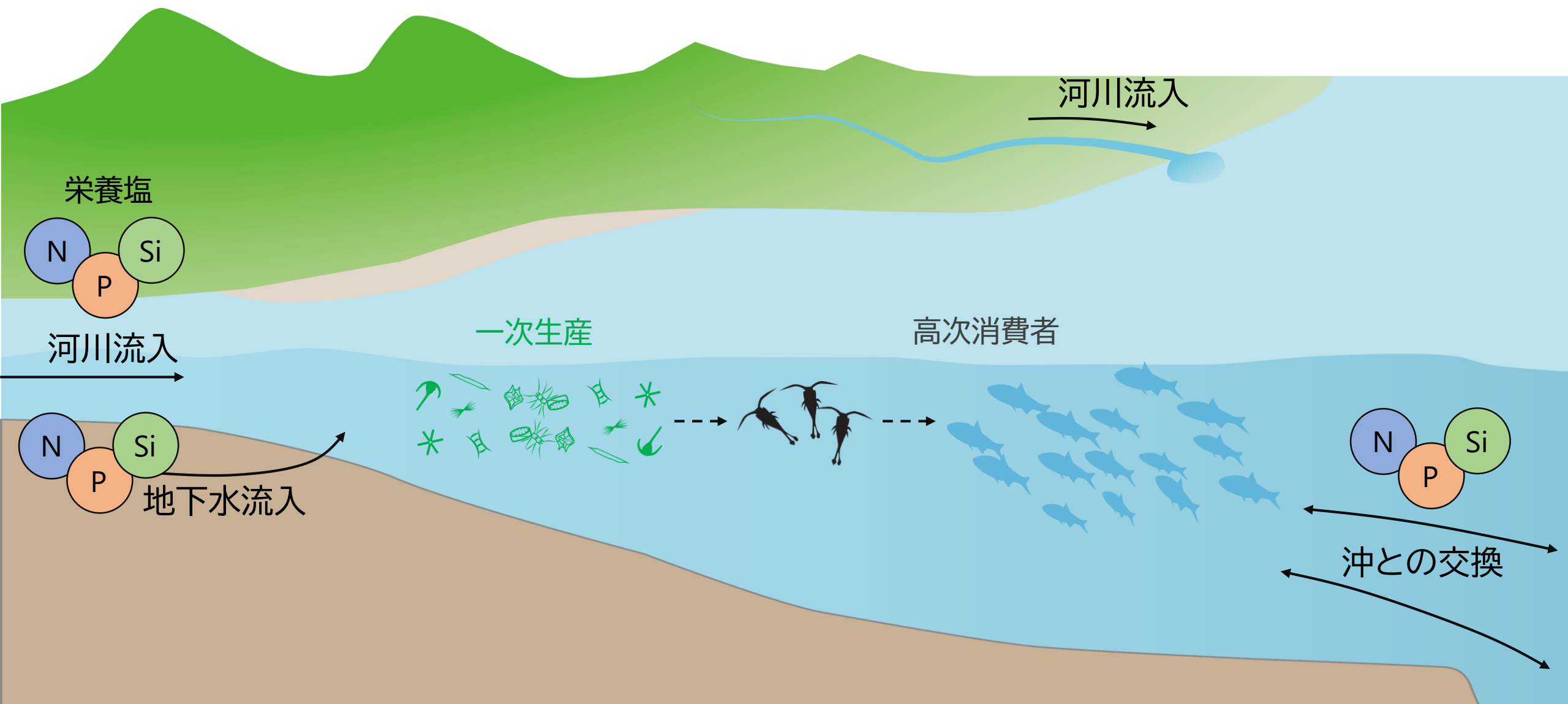
Nakajima et al. (2021), Nutrient fluxes from rivers, groundwater, and the ocean into the coastal embayment along the Sanriku ria coast, Japan, *Limnology and Oceanography* 66: 2728-2744.

## 2. 地下水流入が沿岸域の一次生産に及ぼす影響

Nakajima et al. (2023), Saline groundwater discharge accelerates phytoplankton primary production in a Sanriku ria coastal embayment, Japan, *Marine Ecology Progress Series* 712: 21-34.

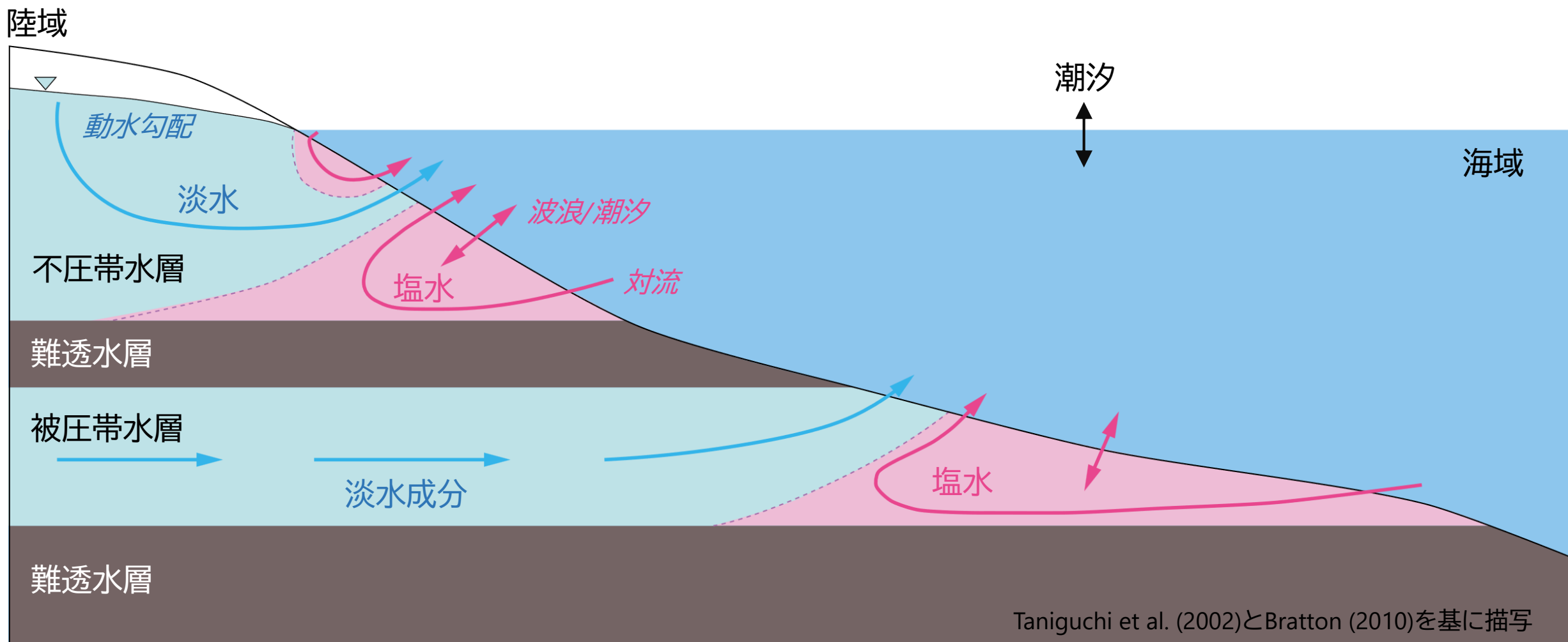


# 沿岸域の高い生物生産性を維持する系外からの栄養塩供給



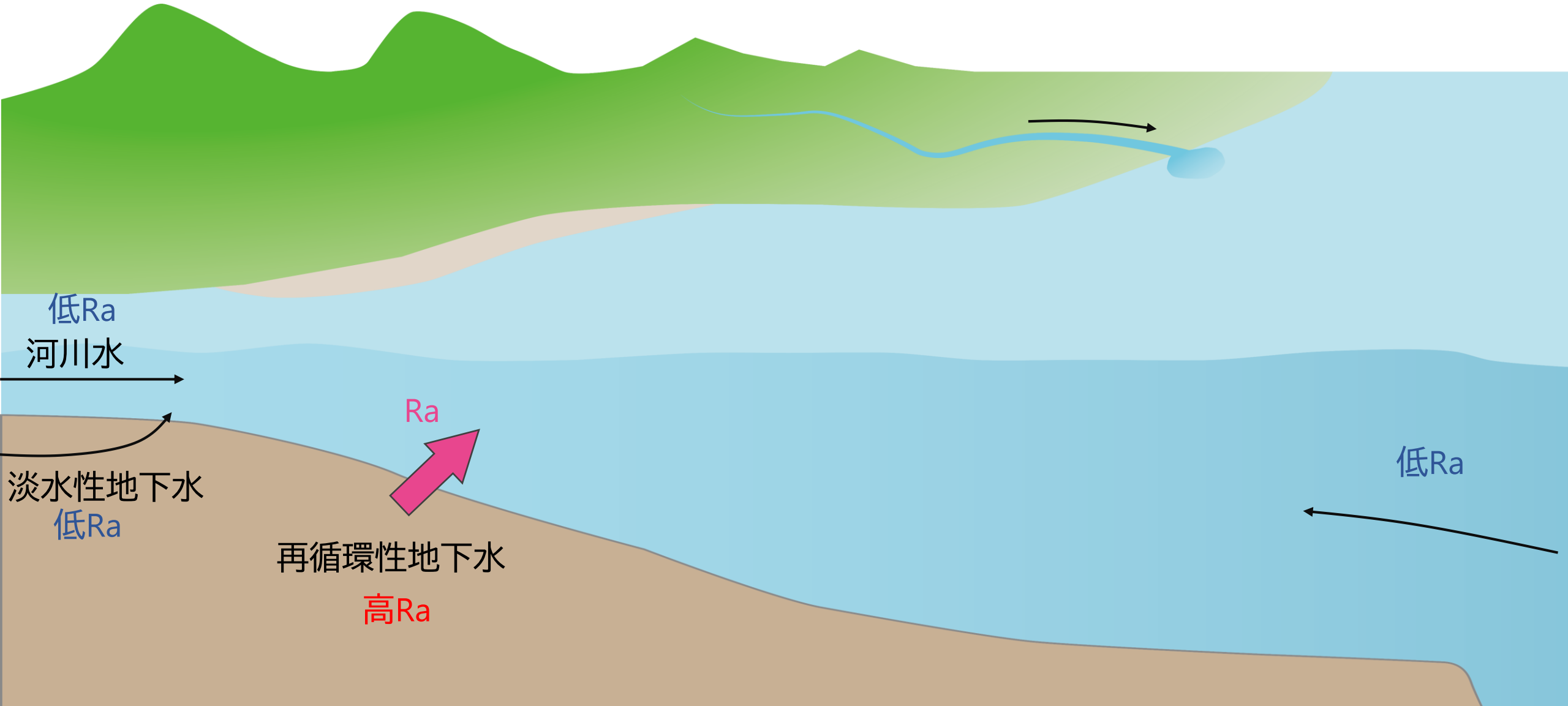
# 成分の異なる地下水の流入

淡水成分(淡水性地下水)と塩水成分(再循環性地下水)の地下水が海へと流入している

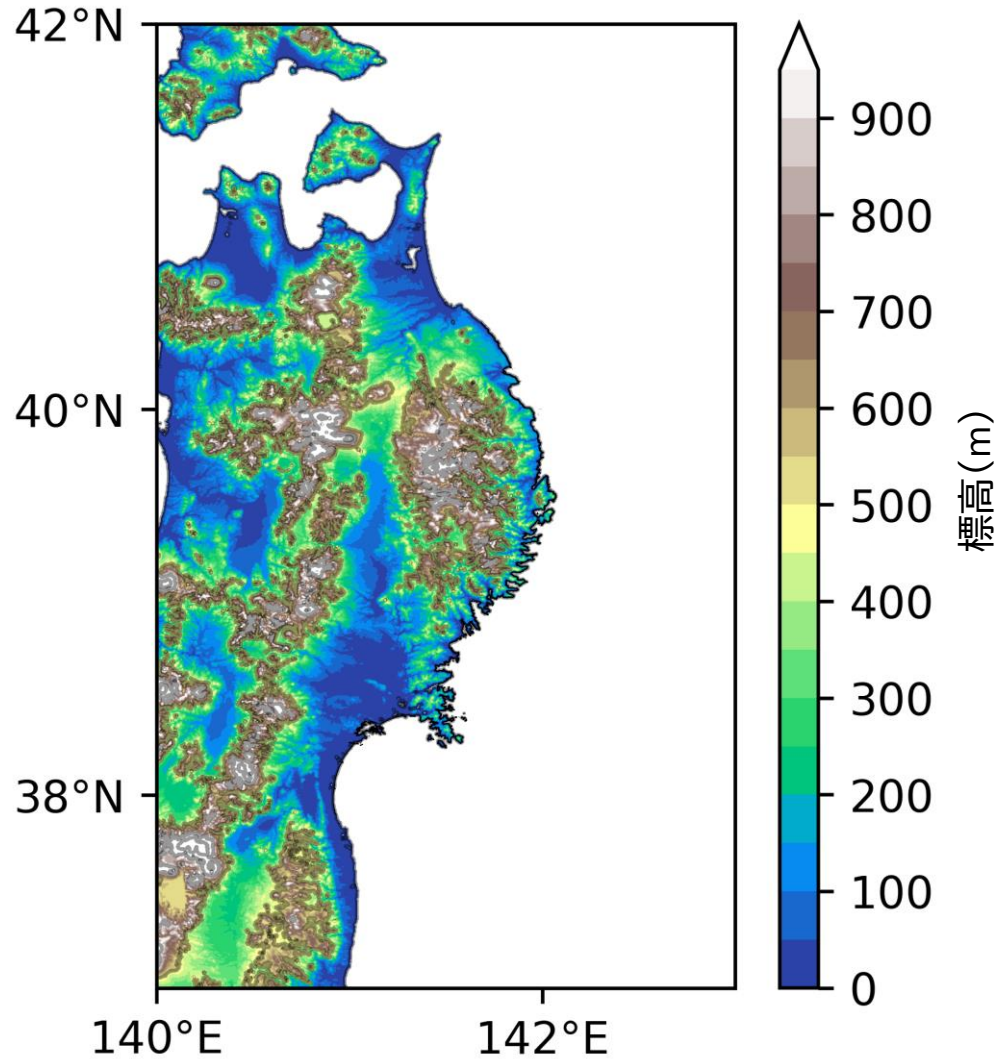


# 天然放射性同位体ラジウム(Ra)を用いた地下水評価

塩水成分の地下水中に高濃度で存在し、再循環性地下水流入現象を捉えるツール



# リアス海岸を有する三陸沿岸海域



外海に面し、その影響を強く受ける

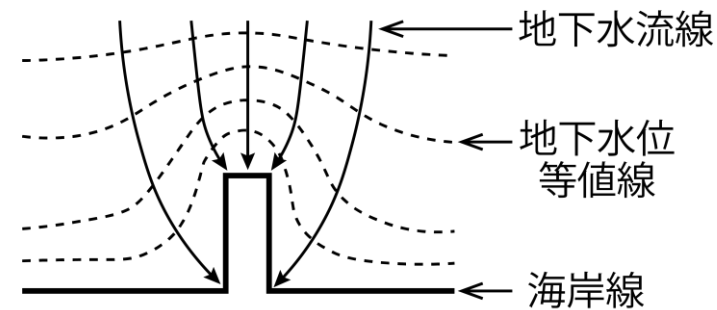
→ 外海からの栄養塩供給との比較が容易

急峻な後背地形

→ 河川が発達しにくく、地下水として海へ流出

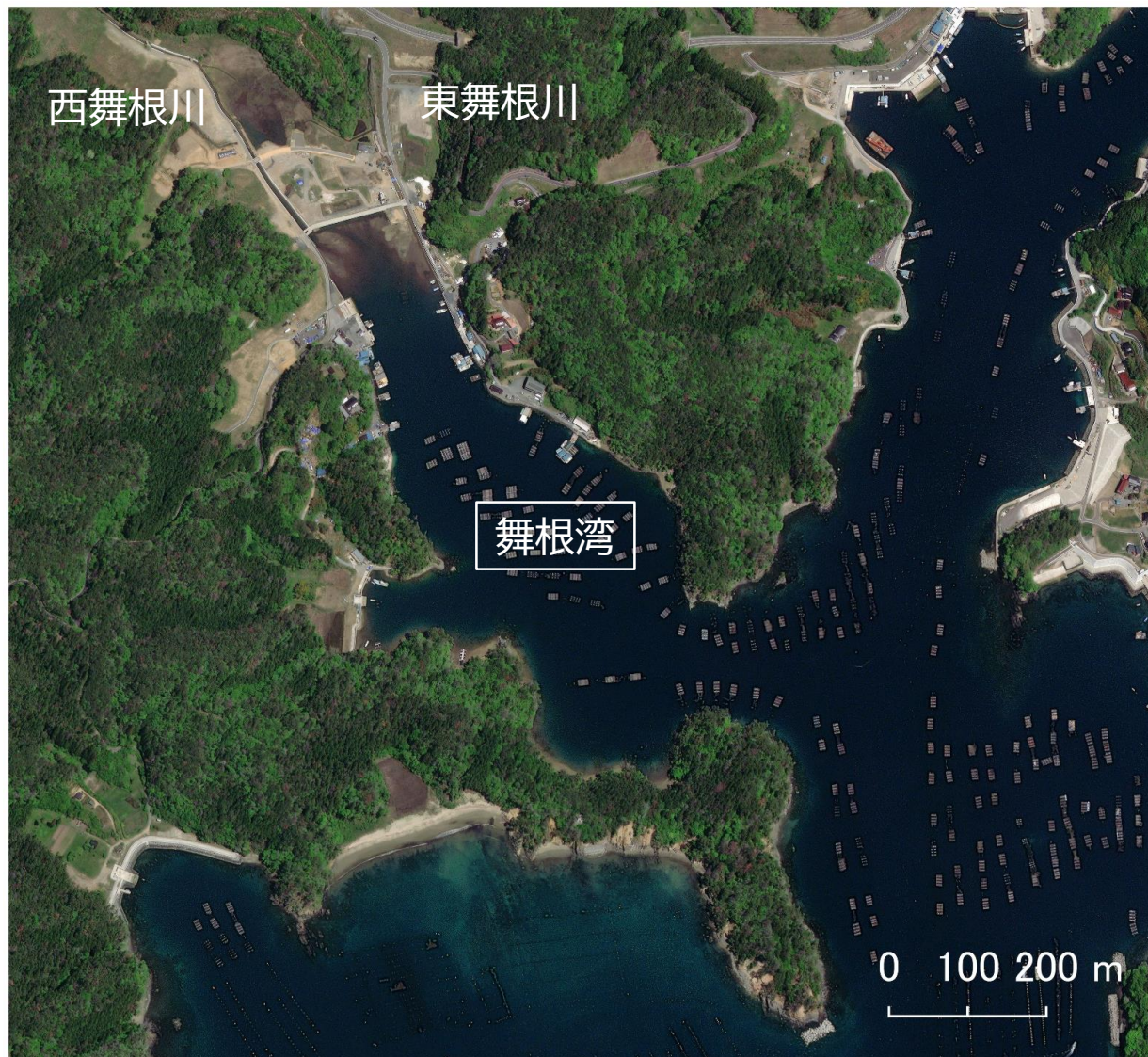
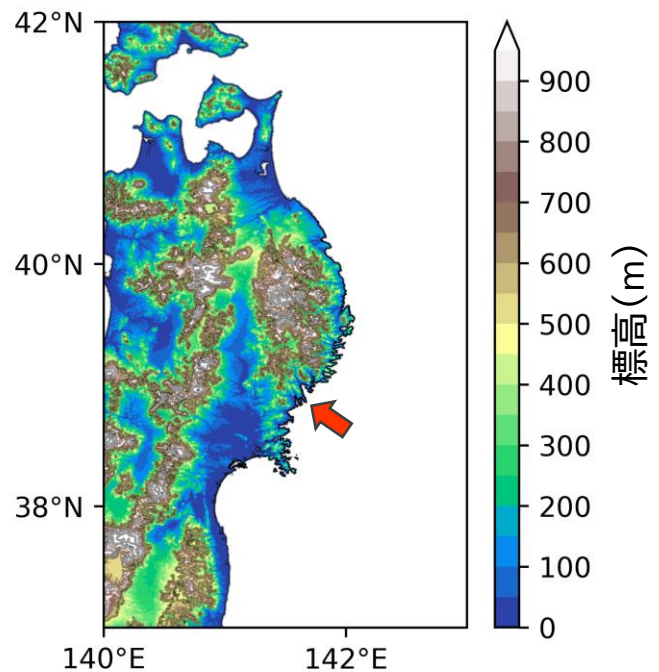
湾曲性のある湾形状

→ 海岸部への地下水の集中度が高い





# 研究对象地域 — 気仙沼舞根湾 —



# 発表内容

## 1. 地下水による栄養塩輸送量とその割合の定量評価

Nakajima et al. (2021), Nutrient fluxes from rivers, groundwater, and the ocean into the coastal embayment along the Sanriku ria coast, Japan, *Limnology and Oceanography* 66: 2728-2744.

## 2. 地下水流入が沿岸域の一次生産に及ぼす影響

Nakajima et al. (2023), Saline groundwater discharge accelerates phytoplankton primary production in a Sanriku ria coastal embayment, Japan, *Marine Ecology Progress Series* 712: 21-34.



# サンプリング

観測月(※全て小潮)

2018年6, 8, 10月, 2019年1, 3月

## サンプリング項目

- 海水
- ◆ 河川水
- ☆ 堆積物
- 淡水性地下水
- △ 再循環性地下水

## 分析項目

栄養物質: 溶存態無機窒素, 溶存態無機リン, 溶存ケイ素

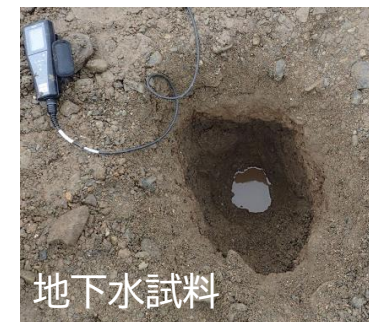
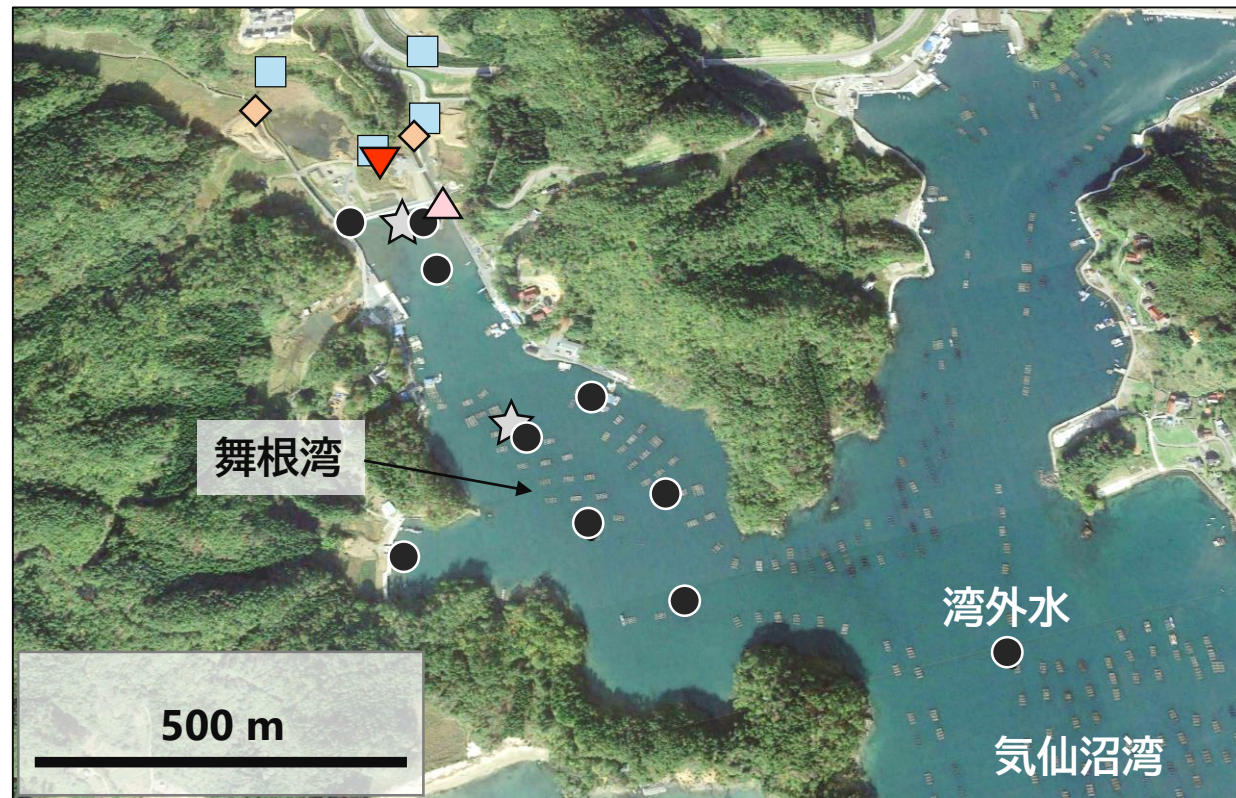
ラジウム同位体:  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$

## 室内実験

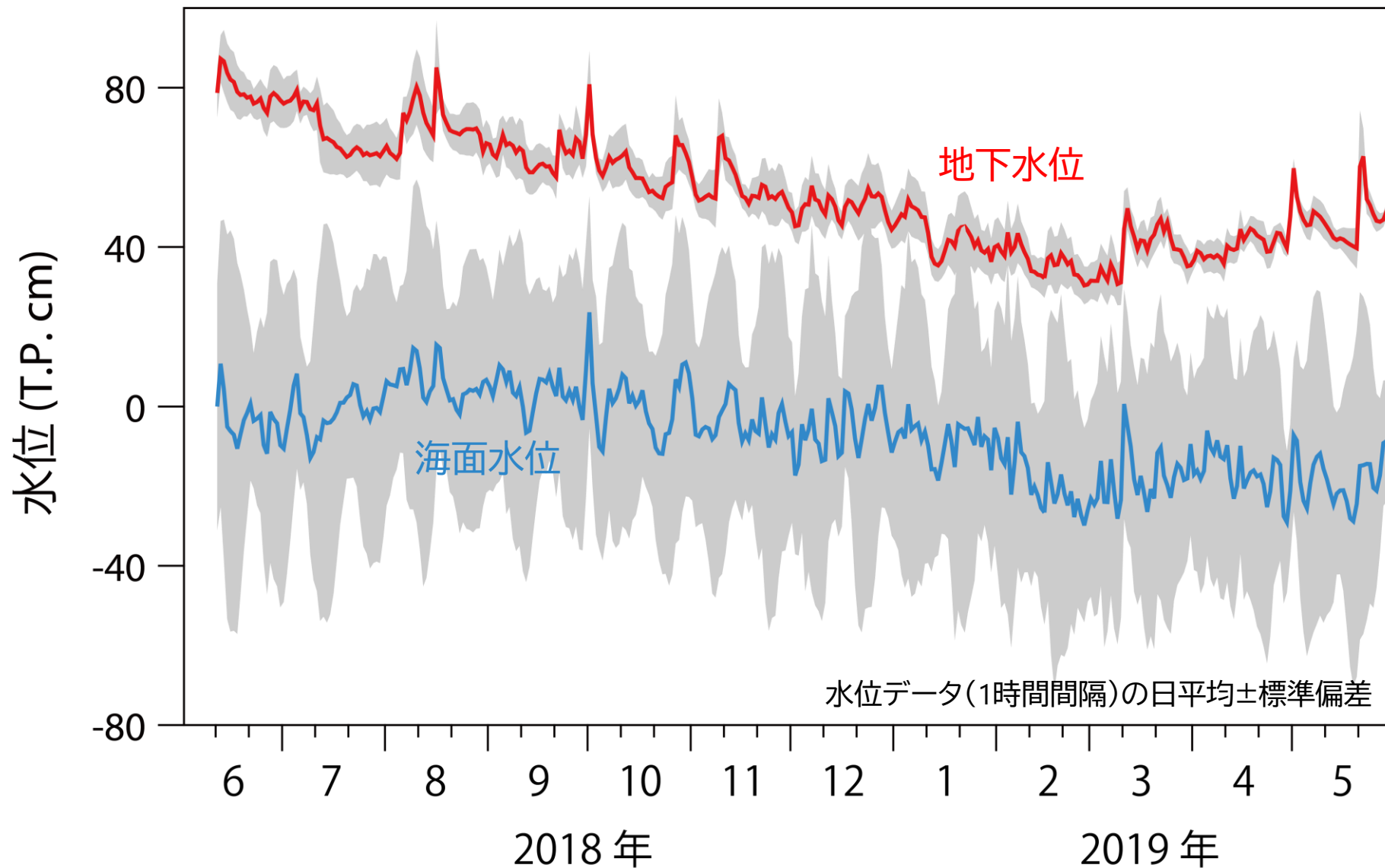
$^{223}\text{Ra}$ ・ $^{224}\text{Ra}$ の堆積物からの拡散による供給量の推定

## 地下水位モニタリング ▼

地下水位と海面水位の差や透水係数により舞根湾へ流入する淡水性地下水量を算出(ダルシー則)

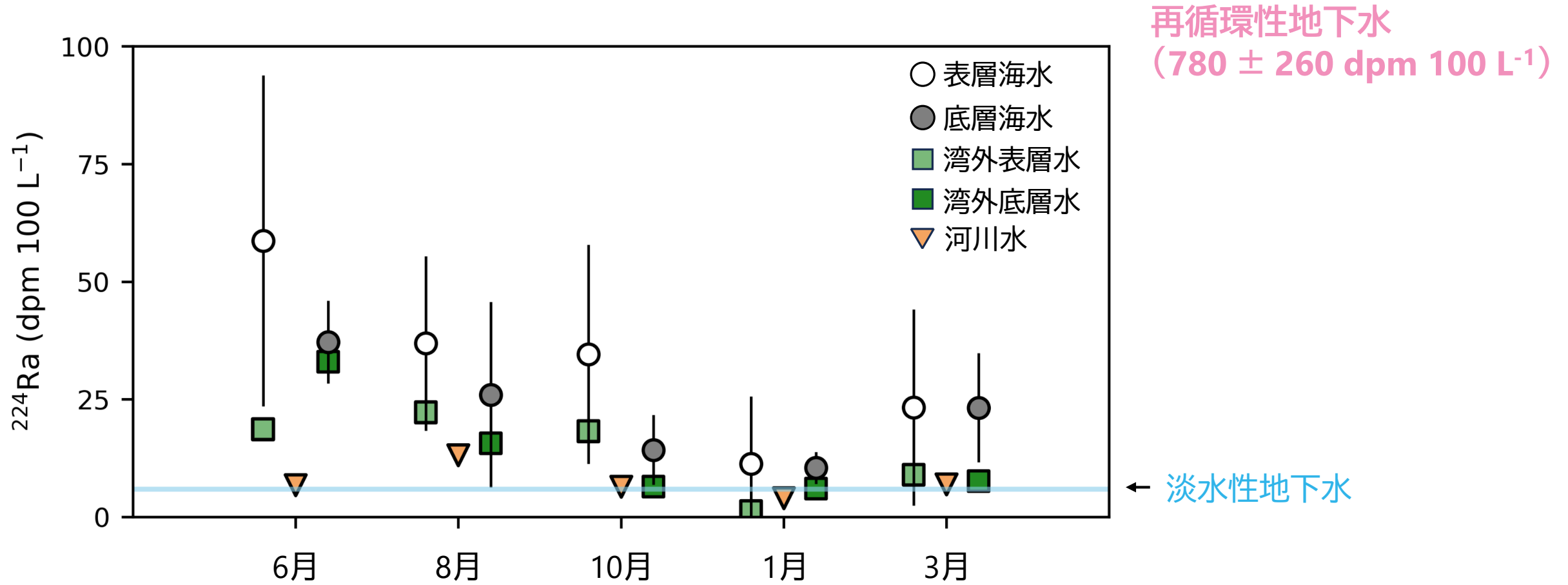


# 地下水水位と海面水位のモニタリングデータ



# 湾海水のラジウム同位体濃度

湾海水のRa濃度は湾外水や河川水、淡水性地下水の濃度より高く、再循環性地下水の影響を受けている

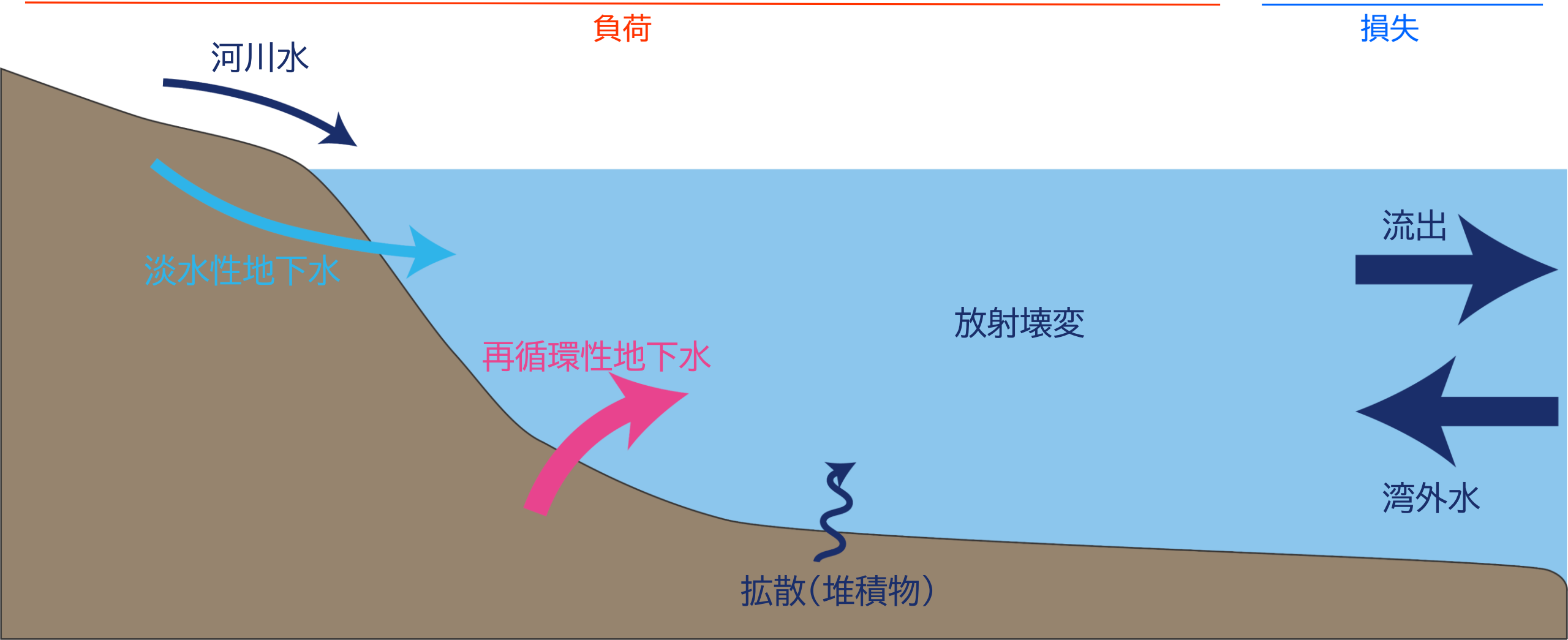


# ラジウム収支解析による再循環性地下水流入量の推定

$$\text{河川水} + \text{淡水性地下水} + \overset{\text{未知数}}{\boxed{\text{再循環性地下水}}} + \text{拡散(堆積物)} + \text{湾外水} = \text{流出} + \text{放射壊変}$$

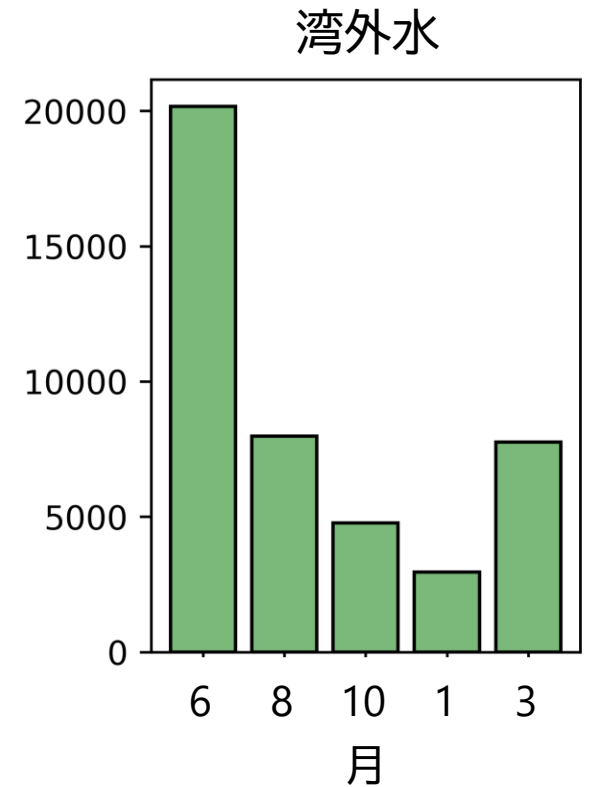
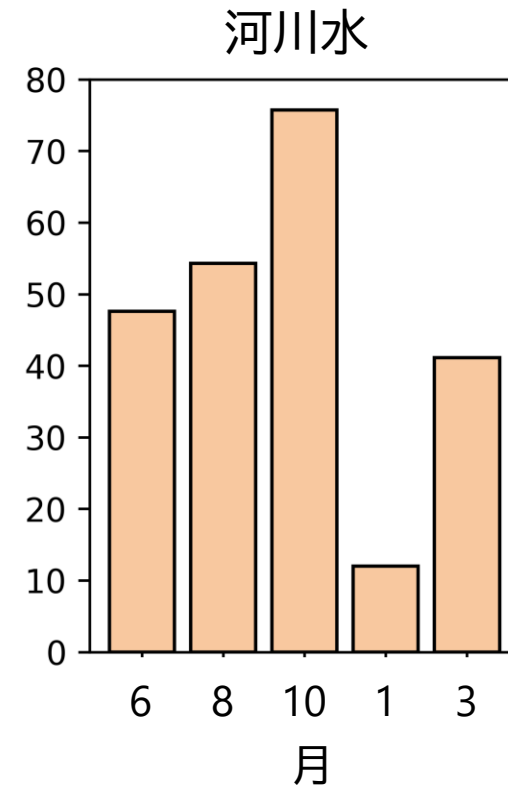
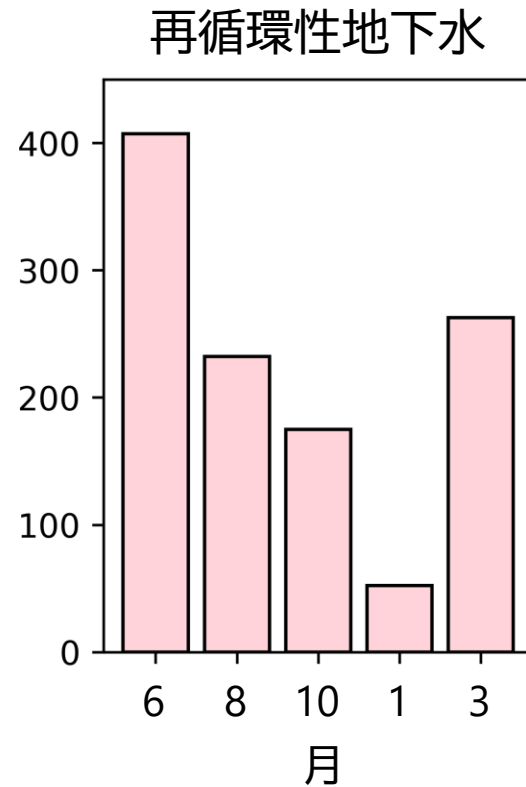
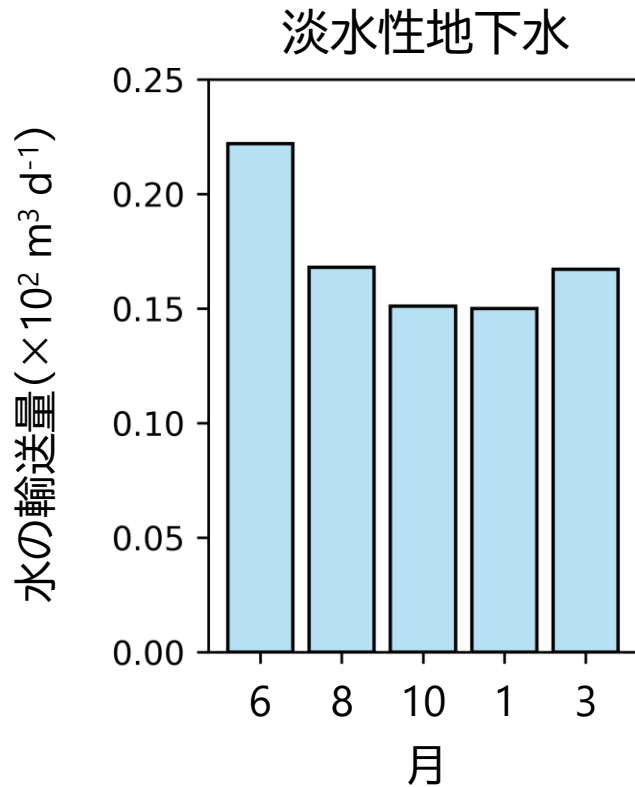
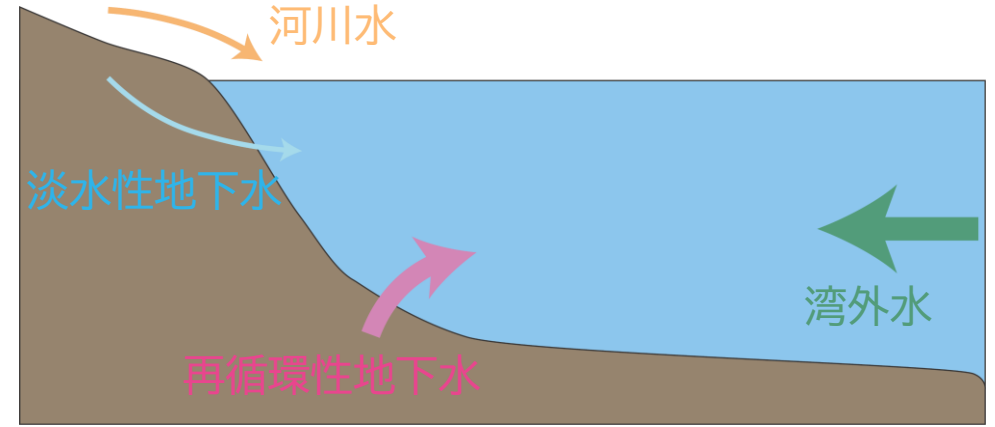
負荷

損失



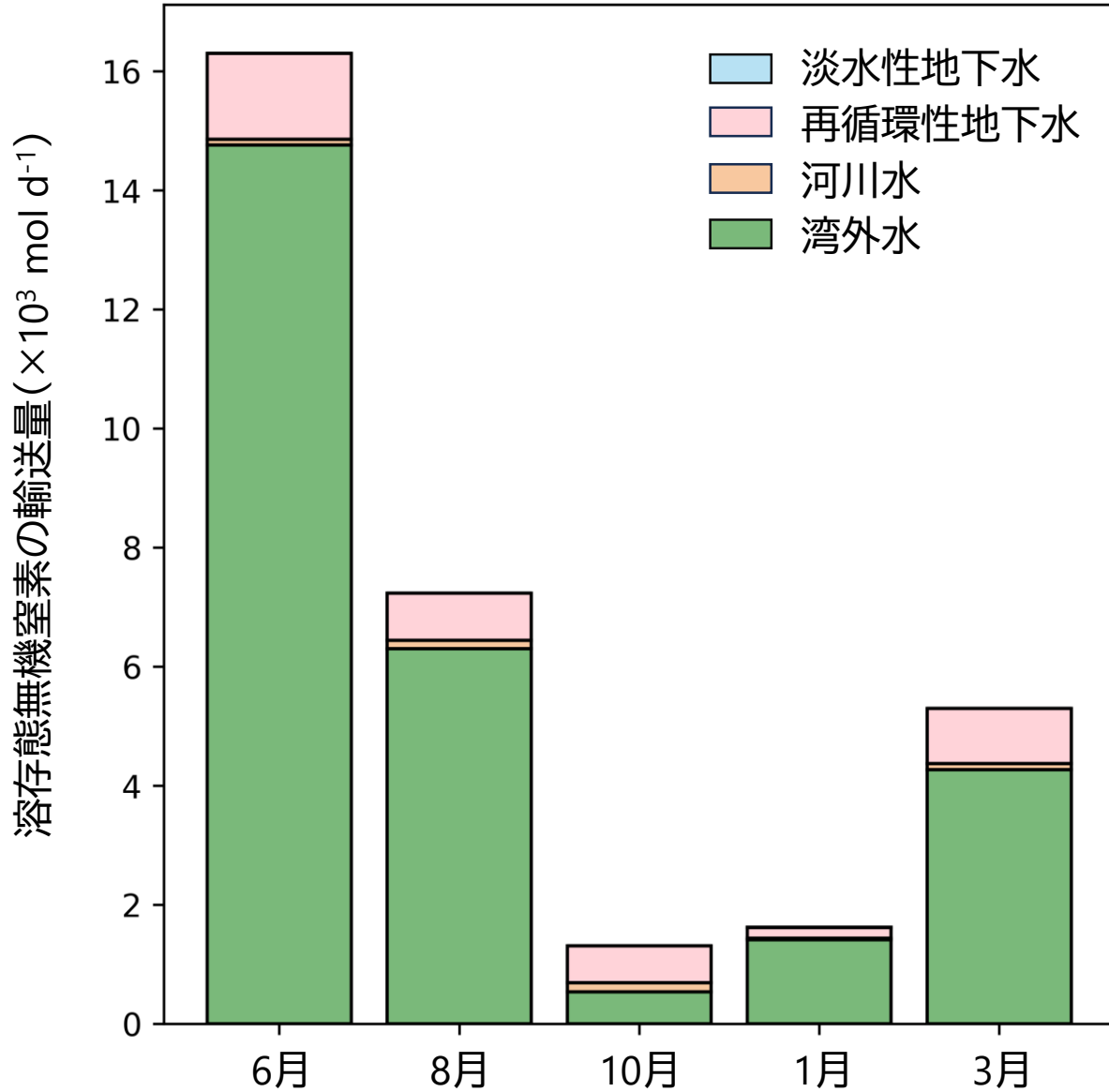
# 各起源から湾への水輸送量

地下水(淡水+再循環)の輸送量は河川水の2-9倍

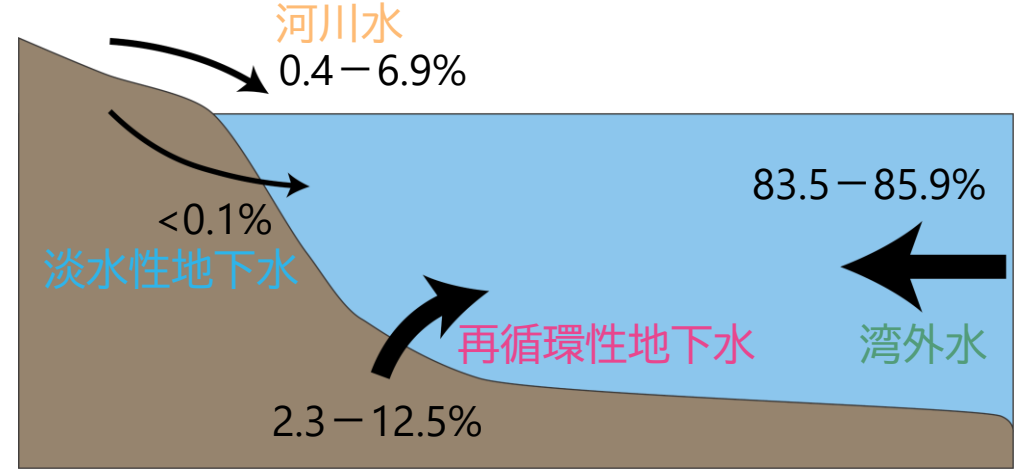




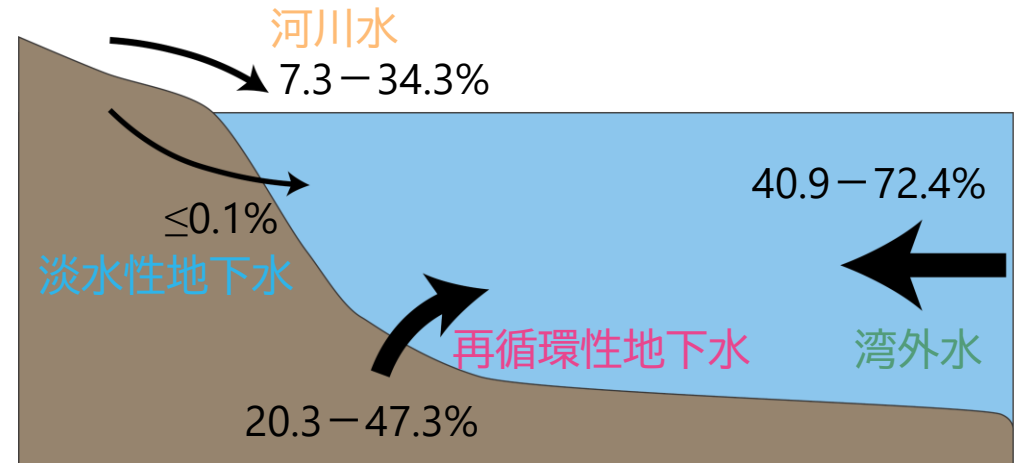
# 湾への栄養物質の供給量



## 5回観測の平均値(窒素、リン、ケイ素)



## 10月(最も湾外からの輸送量が少ないタイミング)



# 発表内容

## 1. 地下水による栄養塩輸送量とその割合の定量評価

Nakajima et al. (2021), Nutrient fluxes from rivers, groundwater, and the ocean into the coastal embayment along the Sanriku ria coast, Japan, *Limnology and Oceanography* 66: 2728-2744.

## 2. 地下水流入が沿岸域の一次生産に及ぼす影響

Nakajima et al. (2023), Saline groundwater discharge accelerates phytoplankton primary production in a Sanriku ria coastal embayment, Japan, *Marine Ecology Progress Series* 712: 21-34.

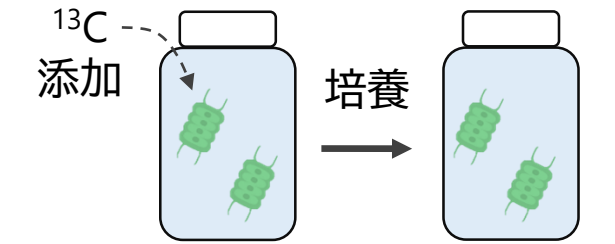
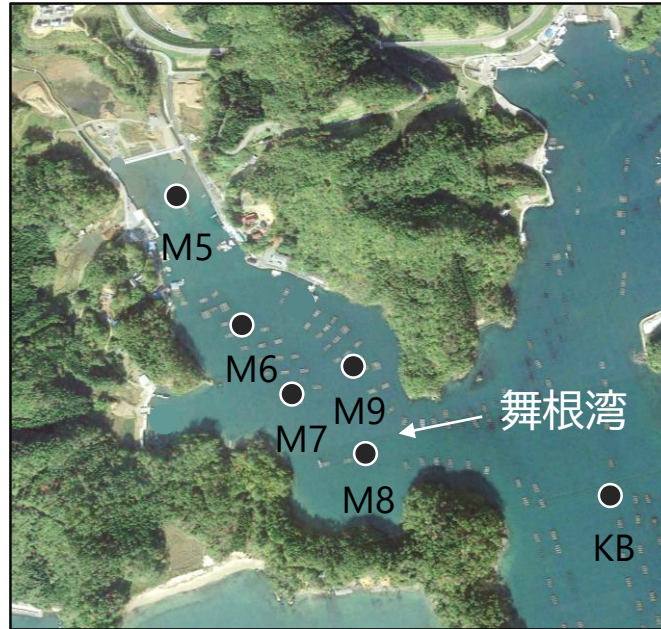
# 現場一次生産速度の測定(実験①)

## 観測月

2018年 6月(夏季: 成層期)、11月(秋季: 混合期)

## 観測内容

- ・水温・塩分観測
- ・水試料の採取(表層水)
- ・疑似現場培養法による一次生産速度の推定( $^{13}\text{C}$ トレーサー法)

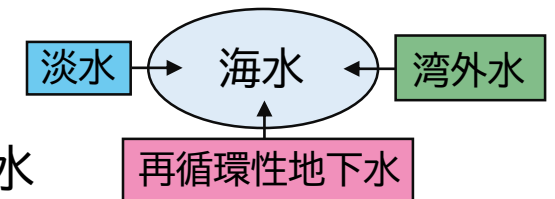


※水温・日射量を現場環境に揃える

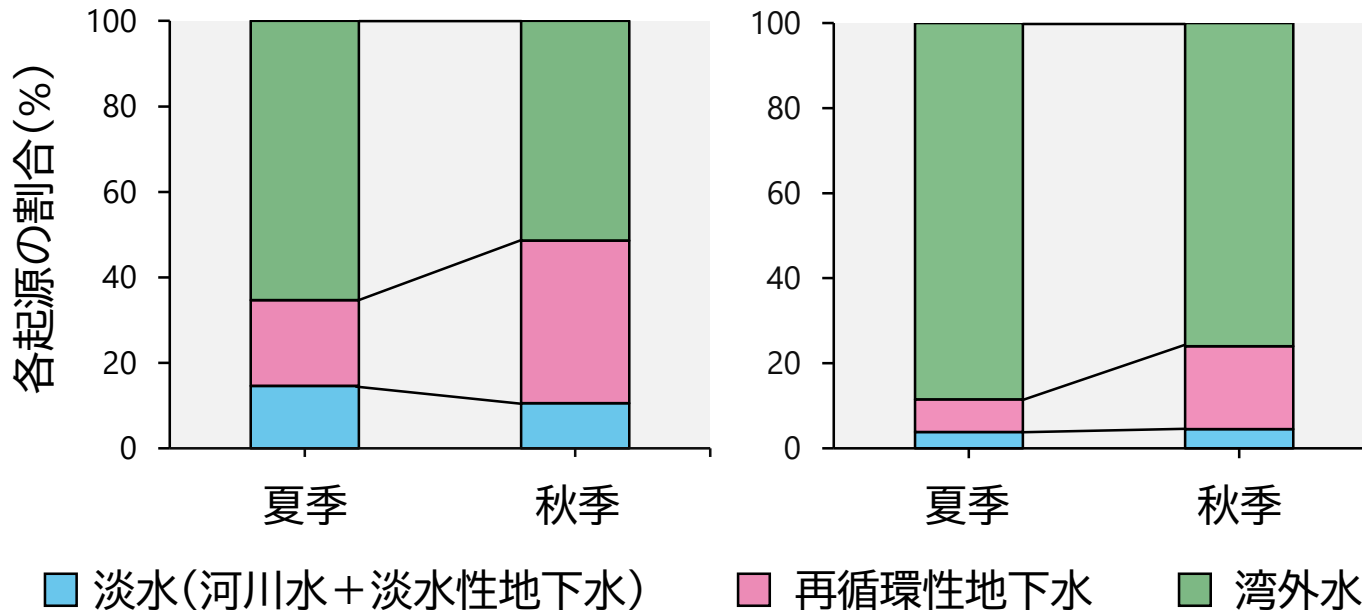
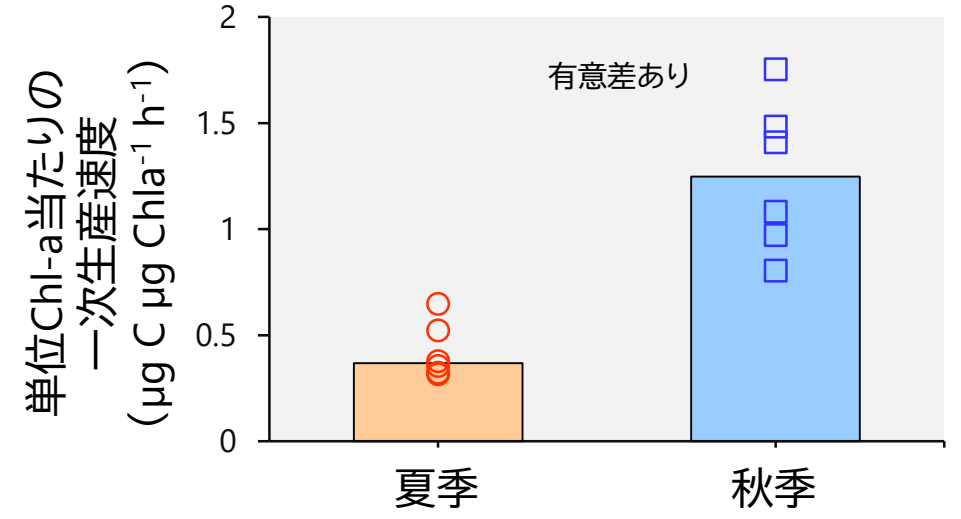
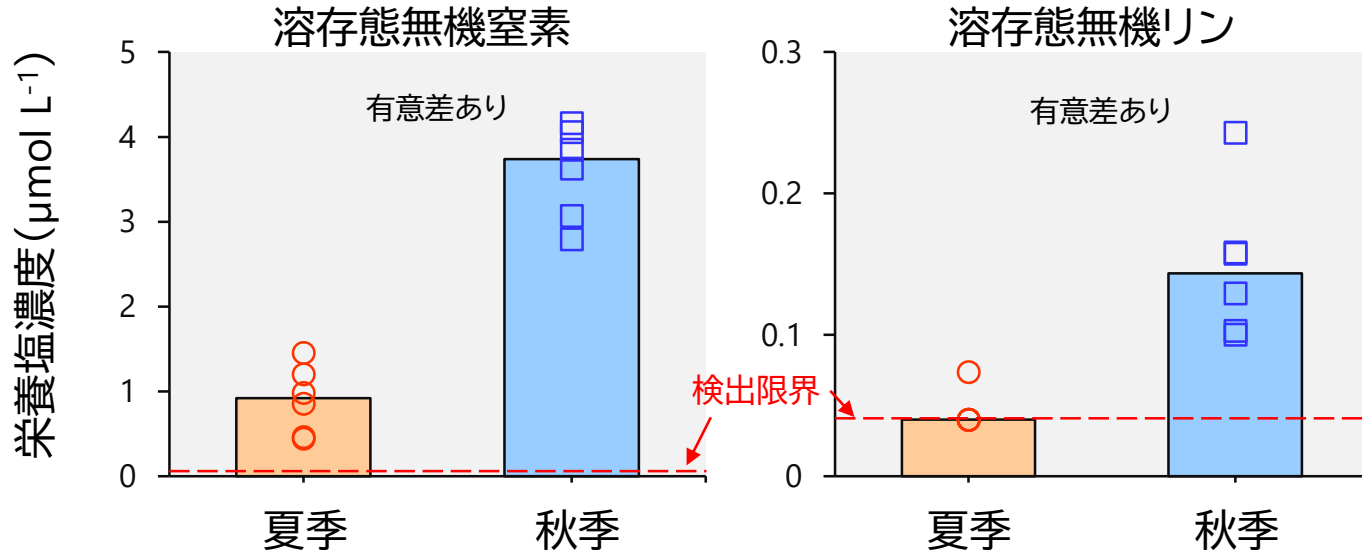
## 分析項目(水試料)

- ・Chl-a(クロロフィルa)濃度 \*植物プランクトン現存量の指標
- ・溶存態無機窒素, 溶存態無機リン, 溶存ケイ素濃度
- ・ $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ 
  - ▶ 塩分とRa同位体を用いて水起源(3種類)の寄与率を推定

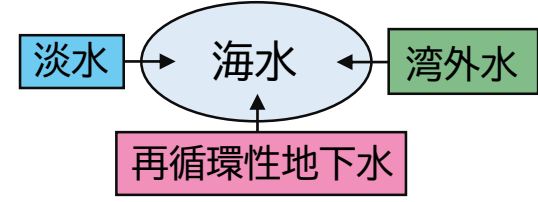
淡水(= 河川水+淡水性地下水), 再循環性地下水, 湾外水



# 栄養塩環境と一次生産速度



\* 観測値および中央値  
\* Mann-Whitney U-test



(塩分とRaを用いた混合率解析により推定)

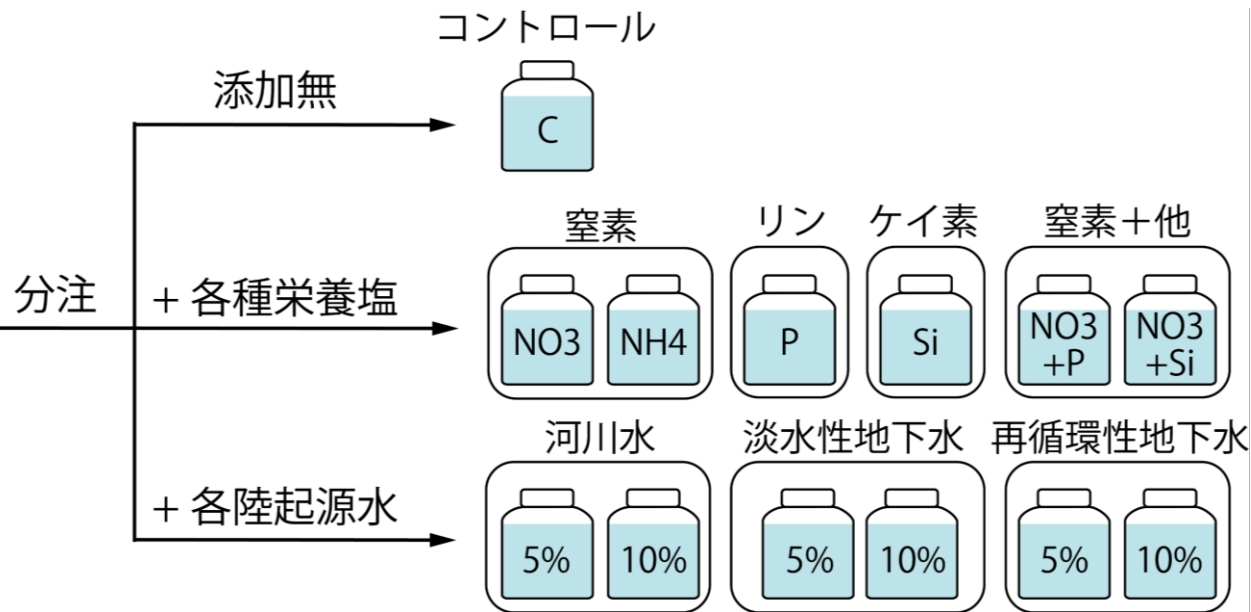
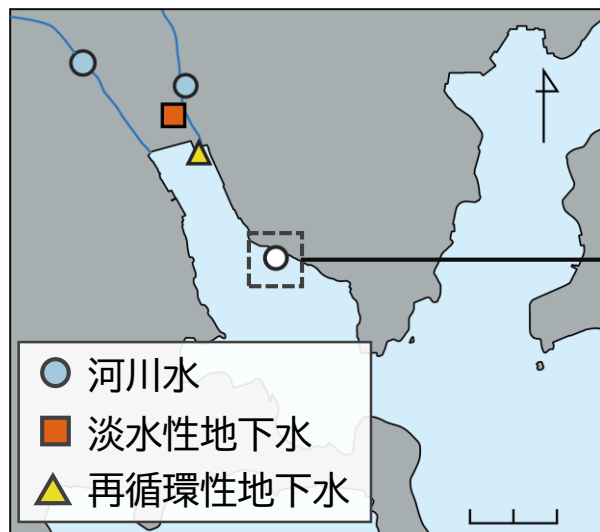
秋季に再循環性地下の割合が増加

再循環性地下水流入が高い一次生産速度に寄与している可能性

# 栄養塩添加による植物プランクトン増殖応答の評価(実験②)

実験①と同じ時期の2020年6月(夏季)と11月(秋季)に実施

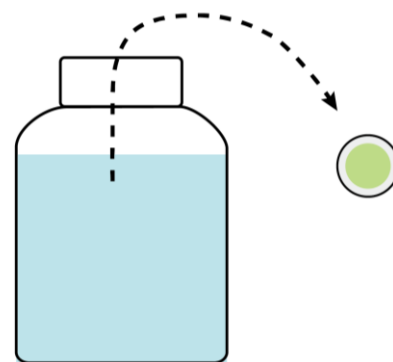
## I. サンプルング+栄養塩添加



## II. 野外での培養



## III. 各ボトルからのサンプルングと分析



培養後の海水中から  
Chl-aサンプルの取得・分析

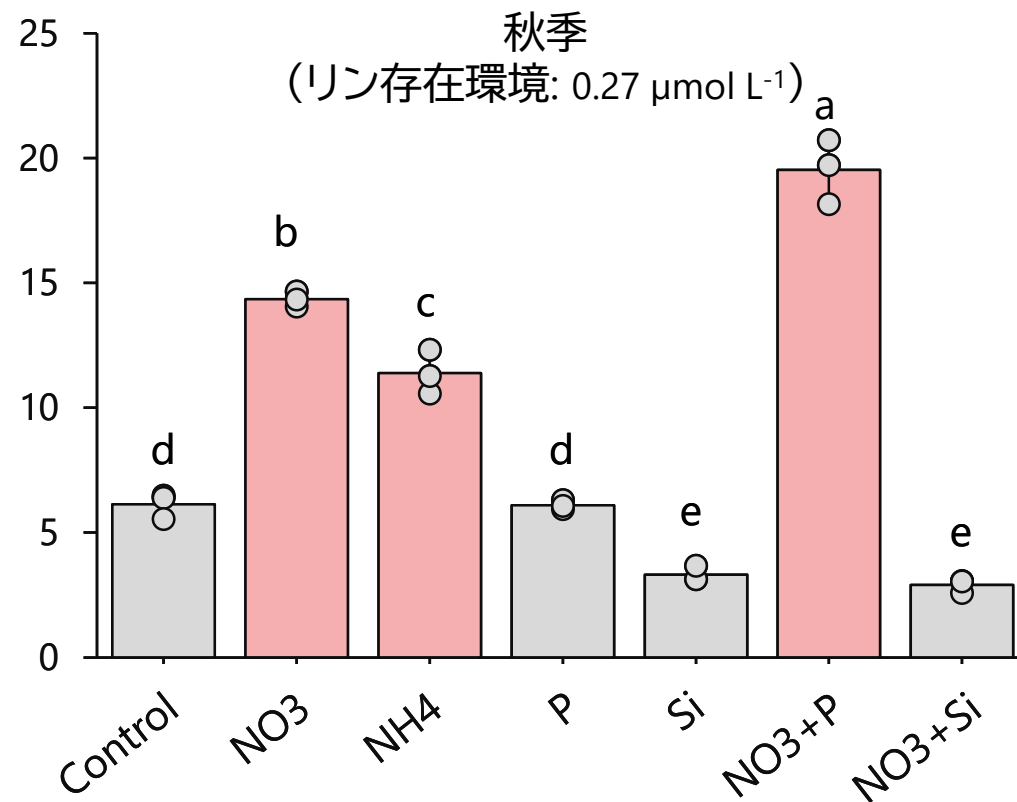
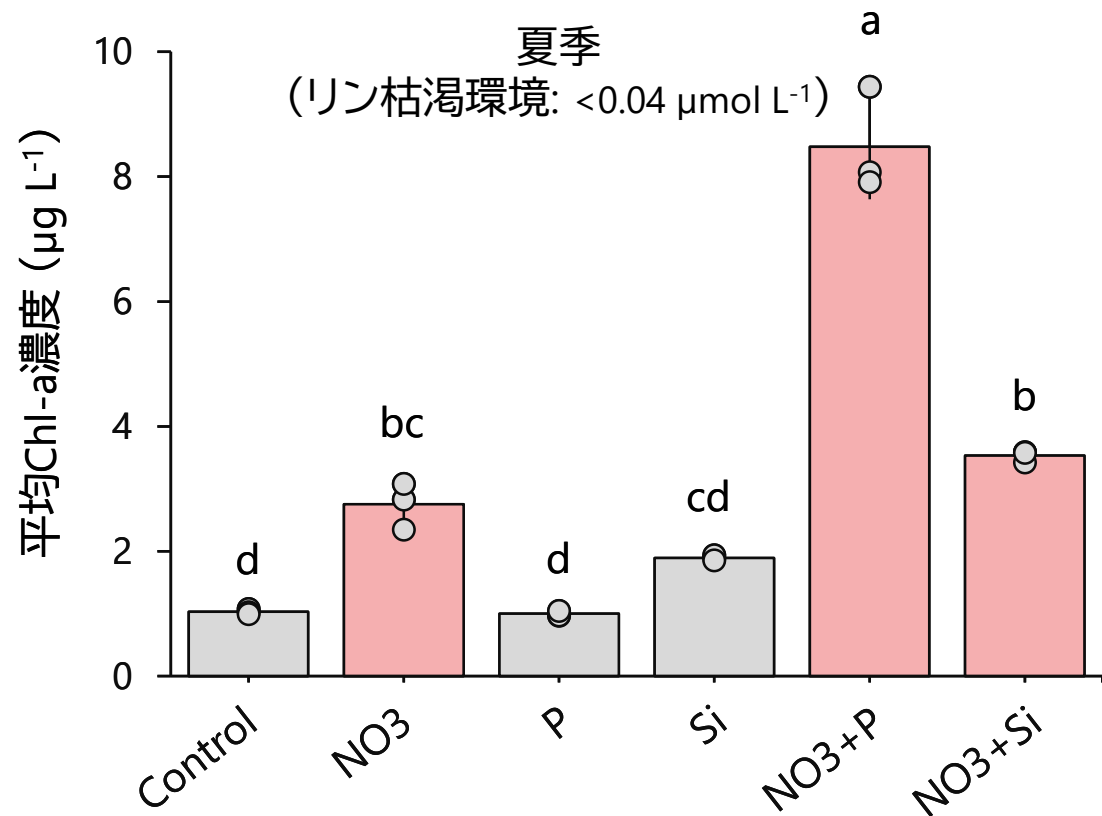
各処理区間でChl-a濃度を  
比較



# 栄養塩添加に対する植物プランクトンの応答

培養72時間後におけるChl-a濃度の比較 (平均値±標準偏差)

■ 無添加区よりも有意に高い濃度

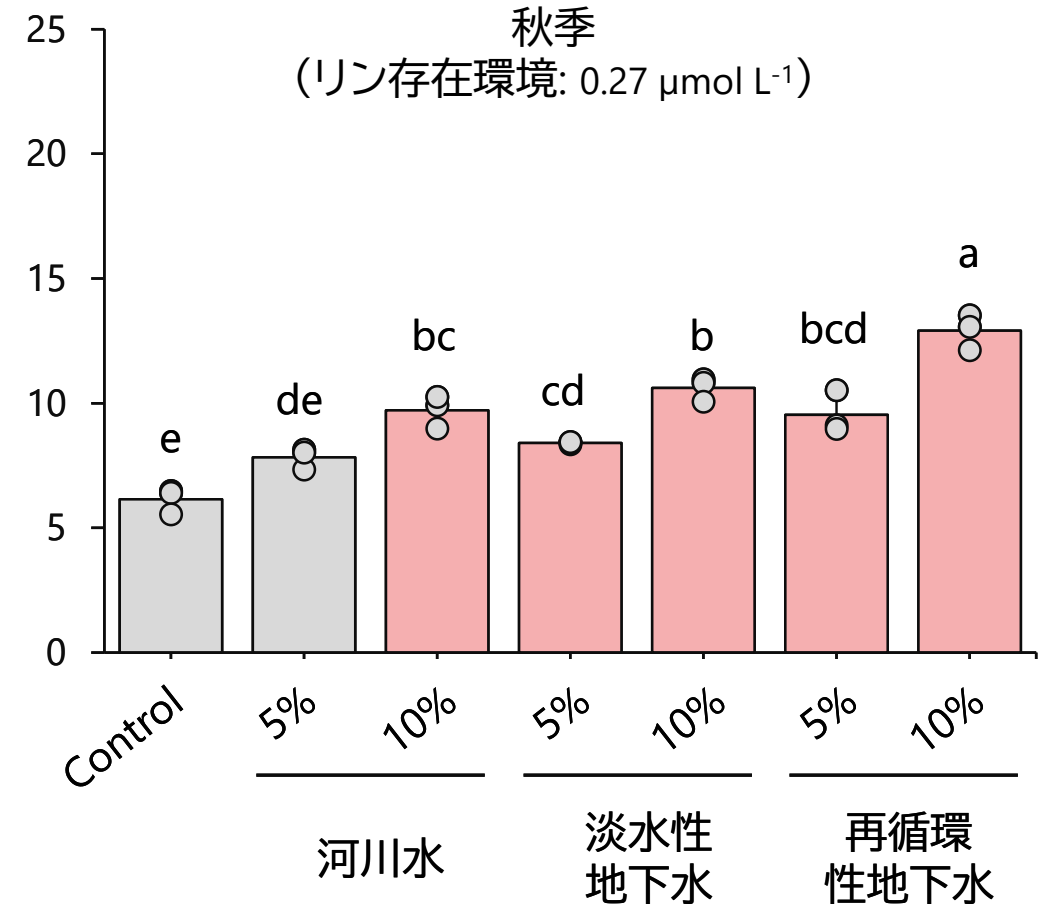
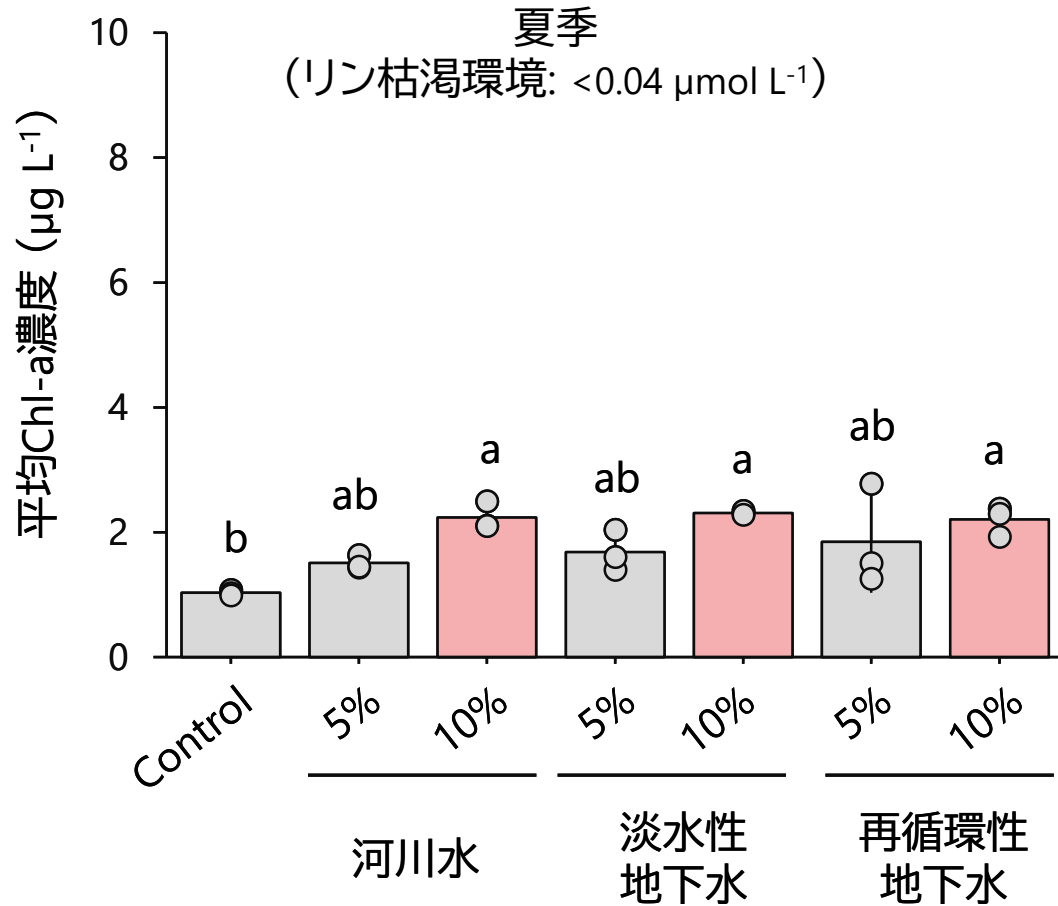


窒素添加区で高いChl-a濃度を示す → 窒素が一次生産の制限栄養塩

# 陸起源水の添加に対する植物プランクトンの応答

培養72時間後におけるChl-a濃度の比較 (平均値±標準偏差)

■ 無添加区よりも有意に高い濃度

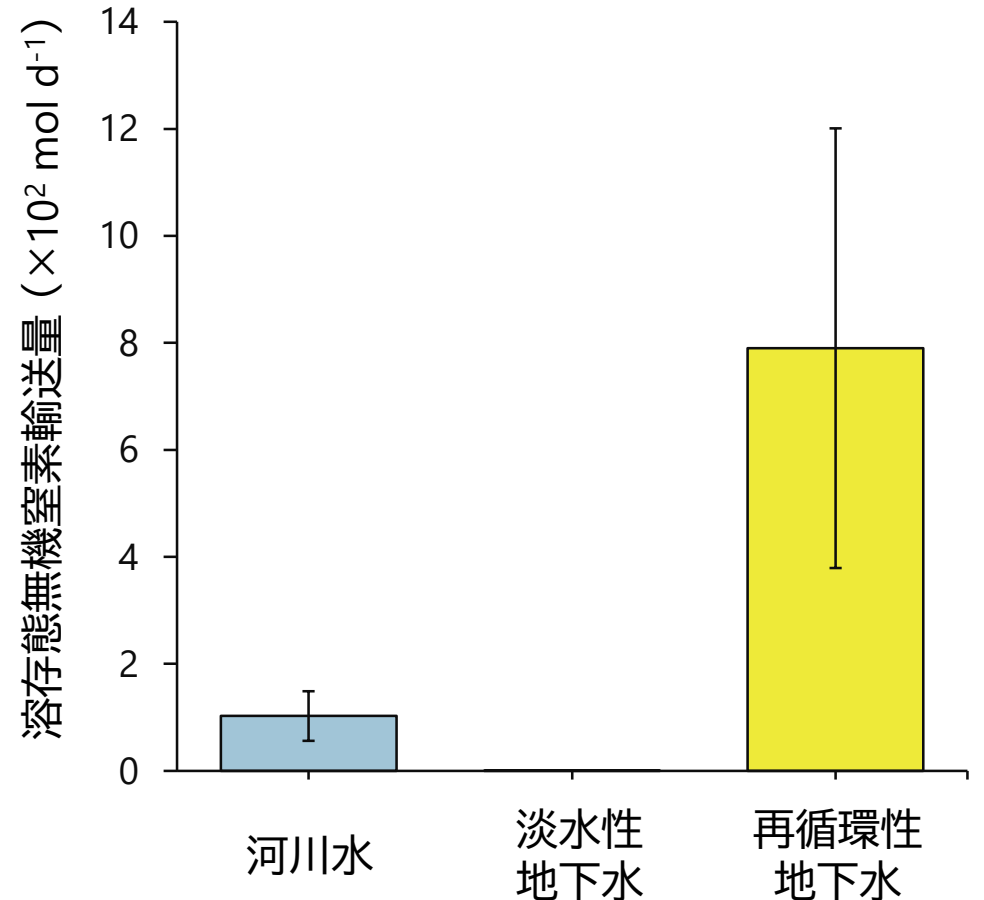
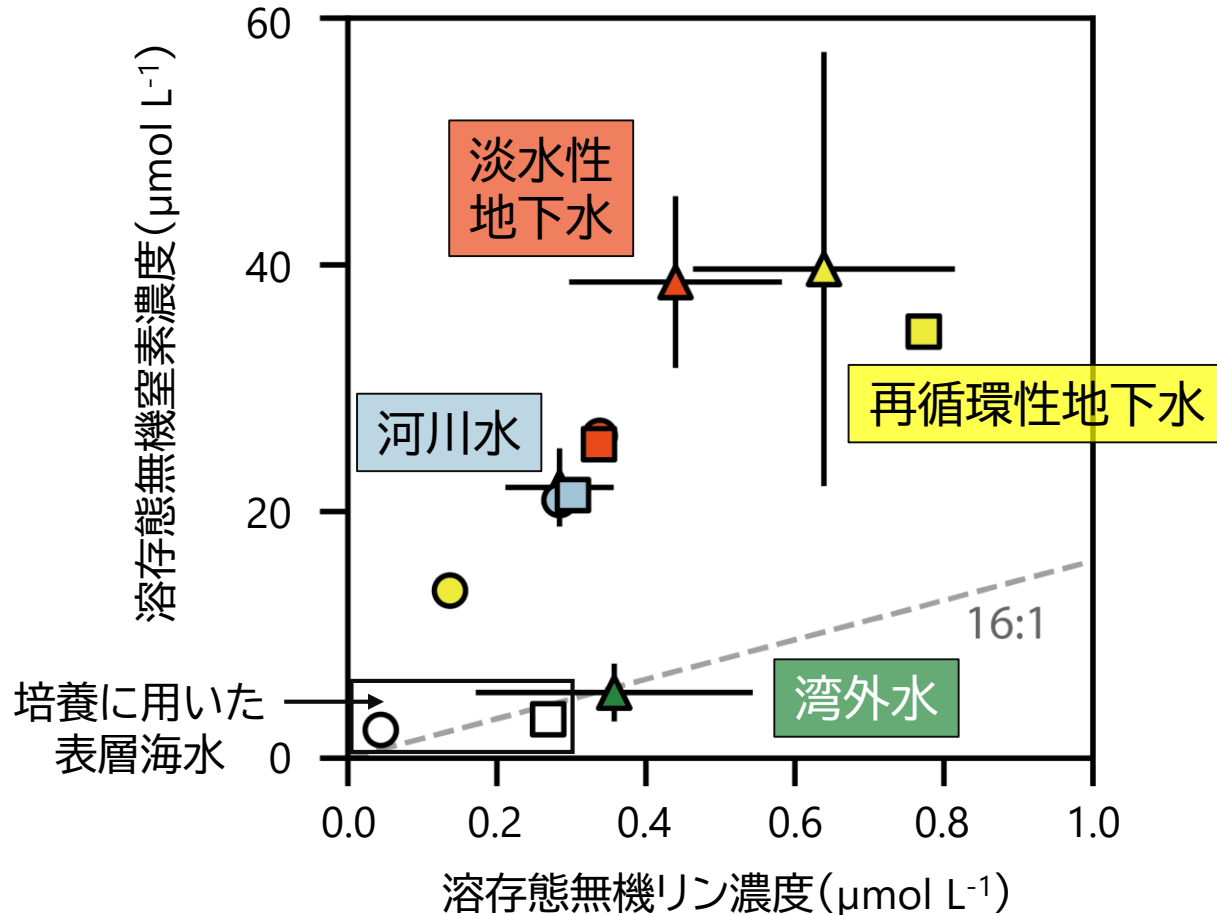


河川水や地下水添加区でも植物プランクトンの増殖応答 → 窒素供給に応答？

# 陸起源水の栄養物質特性：再循環性地下水の役割

陸起源水は表層海水の5倍以上高い窒素濃度を有する

再循環性地下水による窒素輸送が  
河川からの輸送量を上回る (Nakajima et al. 2021)



再循環性地下水による窒素輸送が植物プランクトンの窒素制限を緩和し、一次生産を活性化している可能性

# まとめと今後の展望

## 1. 地下水による栄養塩輸送量とその割合の定量評価

地下水(再循環性地下水が支配的)の栄養塩輸送量が河川水を上回り、重要な栄養塩供給経路としての役割を果たしていることを明らかにした

## 2. 地下水流入が沿岸域の一次生産に及ぼす影響

窒素を多量に含む地下水の流入は、窒素不足による植物プランクトンの増殖制限を緩和し、一次生産を活性化することを示した

類似した後背地形(急峻な地形や湾曲した湾形状)や環境条件(潮位変動)より、三陸沿岸域のリアス海岸では地下水が生態系に及ぼす影響は無視できないものと想定される

## 今後の展望:

栄養塩供給源としての地下水の役割に着目し、南北方向に広がる多数の内湾間での差異や、より広域スケールで評価することで、三陸沿岸域の高い生物生産性の維持機構解明につなげる。

